



**TUGAS AKHIR-RC-14-1501**

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN PAVILION PERMATA SURABAYA  
DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL  
MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN**

**ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
NRP. 03111645000056**

**Dosen Pembimbing I :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka**

**Dosen Pembimbing II :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**



---

TUGAS AKHIR – RC-14-1501

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN PAVILION PERMATA SURABAYA  
DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL  
MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN BALOK  
PRATEKAN**

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
NRP. 03111645000056

Dosen Pembimbing I  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Dosen Pembimbing II  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



---

FINAL PROJECT – RC-14-1501

**DESIGN STRUCTURE MODIFICATION OF  
PAVILION PERMATA SURABAYA APARTMENT  
USING SPECIAL MOMENT RESISTING FRAME  
AND PRESTRESSED BEAM**

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
NRP 03111645000056

Advisor I  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Advisor II  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering, Environment and Earth  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN PAVILION PERMATA SURABAYA  
DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL  
MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN BALOK  
PRATEKAN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program studi S-1 Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ACHMAD FAUZI PRIMABELLA**

NRP. 03111645000056

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka ..... (Pembimbing I)

2. Prof. Tawio, ST., MT., Ph.D. .... (Pembimbing II)



**SURABAYA  
JULI, 2018**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN PAVILION PERMATA SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN**

**Nama Mahasiswa** : Achmad Fauzi Primabella  
**NRP** : 03111645000056  
**Departemen** : Teknik Sipil ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
2. Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRAK**

*Gedung Apartemen Pavilion Permata merupakan gedung yang berlokasi di kawasan Mayjen Sungkono, Surabaya. Berdasarkan hasil Standart Penetration Test (SPT) didapatkan analisis dengan jenis tanah sedang. Gedung Apartemen termasuk dalam kategori resiko II. Maka gedung ini termasuk dalam Kategori Desain Seismik D, sehingga didesain untuk menekan resiko yang terjadi akibat gempa tinggi. Salah satu metode yang digunakan untuk desain tahan terhadap gempa tinggi adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan semua beban gravitasi dan lateral dipikul oleh rangka.*

*Gedung Apartemen ini terdiri dari 12 lantai dan 1 lantai semi basement. Kemudian dimodifikasi untuk ruang pertemuan dengan menambah 1 lantai menjadi 13 lantai . Ruang pertemuan ini didesain berada pada lantai 13 dengan kolom hanya berada di tepi sehingga desain harus menjangkau bentang panjang. Maka dari itu, balok didesain menjadi struktur beton pratekan dengan kemampuan dapat menahan lendutan yang besar dan dimensi yang minimal. Metode beton pratekan yang digunakan adalah post-tension (pasca tarik), yaitu dilakukan pengecoran balok terlebih dahulu, kemudian setelah beton mengeras tendon diberikan gaya tarik sesuai dengan perhitungan.*

*Dalam desain struktur gedung ini menggunakan peraturan beton bertulang (SNI 2847-2013), peraturan untuk beban minimum struktur gedung (SNI 1727-2013) dan peraturan perencanaan ketahanan gempa (SNI 1726-2012). Beban gempa dihitung dengan metode beban gempa dinamis respons spectrum yang dikontrol dengan metode beban gempa statik ekuivalen, kemudian dianalisis dengan menggunakan program bantu komputer ETABS.*

*Oleh karena itu, desain modifikasi gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Balok Pratekan harus dilakukan agar diperoleh desain gedung tahan terhadap gempa tinggi dan penggunaan balok pratekan dapat menyelesaikan permasalahan modifikasi menjadi efektif dan efisien. Dalam desain ini didapatkan hasil akhir berupa gambar penulangan pada pelat, tangga, balok, kolom, balok pratekan dan pondasi.*

**Kata Kunci : gedung apartemen, gempa tinggi, SRPMK, ruang pertemuan, balok pratekan.**

# **DESIGN STRUCTURE MODIFICATION OF PAVILION PERMATA SURABAYA APARTMENT USING SPECIAL MOMENT RESISTING FRAME AND PRESTRESSED BEAM**

**Student Name** : Achmad Fauzi Primabella  
**NRP** : 03111645000056  
**Department** : Teknik Sipil ITS  
**Advisor** : 1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
2. Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRACT**

*Pavilion Permata Surabaya Apartment is a building located in Mayjen Sungkono area, Surabaya. Based on the result of Standard Penetration Test (SPT) obtained analysis with medium type of soil. Apartment building included in risk category II. This building is included in the Seismic Design Category D, so it is designed to minimize the risks caused by the high earthquake. One of the methods used for high earthquake resistant design is the Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) with all gravitational and lateral loads held by the frame.*

*This apartment building consists of 12 floors and 1 floor semi-basement. Then it modified for the meeting room by adding 1 floor to become 13 floors. This meeting room is designed on the 13th floor with columns just at the edges of the room so the design should reach long spans. Therefore, the beam is designed to be a prestressed concrete structure with the ability to withstand large deflections and minimal dimensions. The prestressed concrete method used is post-tension, which is done by casting the beam first, then after the concrete harden the tendon is given tensile force according to the calculation.*

*In the design of this building structure using Indonesian Reinforced Concrete Regulations (SNI 2847-2013), Indonesian*

*Regulations for the Minimum Load of Building Structures (SNI 1727-2013) and Indonesian Earthquake Resistance Planning Regulations (SNI 1726-2012). Earthquake loads are calculated by dynamic quake load response spectrum methods that are controlled by equivalent static earthquake load method, then analyzed using computer auxiliary program(ETABS).*

*Therefore, the modified structure design of Pavilion Permata Surabaya Apartment with special moment resisting frame system (SRPMK) and prestressed beams must be done to obtain the high earthquake resistant building design and the use of prestressed beam can solve the problem of modification to be effective and efficient. The final result of this design is a reinforcement drawing on plates, stairs, beams, columns, prestressed beams and foundations.*

**Keywords : apartment building, high earthquake, Special Moment Resisting Frame System, the meeting room, prestressed beam.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, serta shalawat dan salam yang selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sehingga Tugas Akhir dengan judul “**Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Balok Pratekan**” dapat terselesaikan dengan baik.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Karena itu, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang besar penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan kakak-kakak yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan doa.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA. dan Prof. Tawio, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan, arahan dan saran.
3. Bapak Musta'in Arif, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan selama proses perkuliahan.
4. Bapak Trijoko Wahyu Adi, ST.,MT.,Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, FTSLK-ITS
5. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Sipil, FTSLK-ITS yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat.
6. Teman-teman kelas Lintas Jalur Teknik Sipil 2016 yang selalu memberikan bantuan dan dukungan.
7. Semua pihak yang turut memberikan bantuan dan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir.



Penulis menyadari bahwa proses penyusunan proposal tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran dari berbagai pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap laporan ini nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah.....	3
1.3    Tujuan.....	3
1.4    Batasan Masalah.....	3
1.5    Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Umum.....	5
2.2    Sistem Struktur.....	5
2.2.1    Sistem Rangka Pemikul Momen.....	6
2.2.2    Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	6
2.3    Struktur Beton Pratekan.....	8
2.3.1    Gaya Pratekan.....	9
2.3.2    Tegangan ijin pada Baja dan Beton.....	9
2.3.3    Metode Sistem Pratekan.....	10
2.3.4    Prinsip Dasar Beton Pratekan.....	12

2.3.5	Kehilangan Gaya Pratekan.....	14
2.3.6	Momen Retak .....	17
2.3.7	Momen nominal.....	18
2.3.8	Lendutan pada balok pratekan .....	18
BAB III METODOLOGI .....		21
3.1	Umum.....	21
3.2	Diagram Alir .....	21
3.3	Pengumpulan Data.....	23
3.4	Studi Literatur.....	23
3.5	<i>Preliminary Design</i> .....	24
3.5.1	Struktur Sekunder .....	24
3.5.2	Struktur Utama Non Pratekan .....	24
3.5.3	Struktur Utama Pratekan.....	25
3.6	Pembebanan .....	25
3.7	Analisa Beban Gempa .....	26
3.7.1	Faktor Keutamaan Gempa .....	27
3.7.2	Kelas Situs .....	27
3.7.3	Parameter Parameter Percepatan Tanah.....	27
3.7.4	Percepatan Spektral .....	28
3.7.5	Kategori Desain Seismik .....	28
3.7.6	Perhitungan Spektrum Respons .....	28
3.7.7	Koefisien respon seismik (Cs) .....	29
3.7.8	Gaya Geser Dasar Seismik .....	29
3.7.9	Kontrol kelayakan struktur terhadap gempa .....	30
3.8	Desain Struktur Sekunder .....	30

3.8.1	Desain Pelat .....	30
3.8.2	Desain Tangga .....	31
3.8.3	Desain Balok Sekunder.....	31
3.9	Permodelan Struktur .....	33
3.10	Desain Struktur Utama Non Pratekan.....	33
3.10.1	Desain Balok induk .....	33
3.10.2	Desain Kolom.....	37
3.10.3	Hubungan Balok Kolom .....	40
3.11	Desain Struktur Utama Pratekan.....	41
3.11.1	Desain Penampang Balok Pratekan .....	41
3.11.2	Pembebanan.....	41
3.11.3	Tegangan Ijin Beton .....	42
3.11.4	Daerah limit tendon dan Gaya awal pratekan .....	42
3.11.5	Pemilihan Tendon Baja.....	43
3.11.6	Kehilangan Pratekan.....	44
3.11.7	Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan .....	46
3.11.8	Kontrol Geser .....	47
3.11.9	Kontrol Lendutan.....	47
3.11.10	Pengangkuran .....	47
3.12	Desain Pondasi Pondasi .....	48
3.13	Gambar Kerja .....	52
BAB IV DESAIN DAN ANALISA STRUKTUR .....		53
4.1	Data Perencanaan .....	53
4.2	<i>Preliminary Design</i> .....	53
4.3.1.1	Balok .....	53

4.3.1.2	Pelat.....	56
4.3.1.3	Kolom.....	62
4.3	Desain Struktur Sekunder .....	66
4.3.1	Desain Struktur Pelat Lantai .....	66
4.3.1.1	Data Perencanaan Pelat.....	66
4.3.1.2	Pembebanan.....	67
4.3.1.3	Perhitungan Penulangan Lentur .....	67
4.3.1.4	Kontrol Lendutan.....	71
4.3.2	Desain Struktur Tangga .....	72
4.3.2.1	Data Perencanaan.....	72
4.3.2.2	Pembebanan Pelat Tangga dan Bordes .....	74
4.3.2.3	Analisis Struktur .....	75
4.3.2.4	Perhitungan Penulangan Pelat Tangga.....	78
4.3.2.5	Perhitungan Penulangan Pelat Bordes.....	81
4.3.3	Desain Struktur Balok Bordes .....	84
4.3.3.1	Data Perencanaan.....	84
4.3.3.2	Pembebanan.....	84
4.3.3.3	Perhitungan Penulangan Lentur .....	85
4.3.3.4	Perhitungan Penulangan Geser .....	87
4.3.4	Desain Struktur Balok Anak .....	89
4.3.5.1	Data Perencanaan.....	89
4.3.5.2	Pembebanan.....	90
4.3.5.3	Perhitungan Penulangan Lentur .....	91
4.3.5.4	Perhitungan Penulangan Geser .....	95
4.3.5	Desain Struktur Balok Lift.....	97

4.3.5.1	Data Perencanaan.....	97
4.3.6.2	Spesifikasi dan Pembebanan.....	98
4.3.6.3	Perhitungan Penulangan Lentur .....	100
4.3.6.4	Perhitungan Penulangan Geser .....	102
4.3.6	Desain Struktur Balok Kantilever .....	104
4.3.6.1	Data Perencanaan.....	104
4.3.6.2	Perhitungan Penulangan Lentur .....	105
4.3.6.3	Perhitungan Penulangan Geser .....	107
4.4	Pembebanan dan Permodelan Struktur .....	109
4.4.1	Pembebanan.....	109
4.4.1.1	Beban Mati dan Beban Hidup.....	109
4.4.1.2	Beban Angin.....	113
4.4.1.3	Beban Gempa .....	118
4.4.2	Kombinasi Pembebanan .....	127
4.4.3	Kontrol Hasil Analisis Struktur .....	128
4.4.3.1	Kontrol Waktu Getar Alami.....	129
4.4.3.2	Kontrol Akhir Base Reaction.....	129
4.4.3.3	Jumlah Respon Ragam.....	130
4.4.3.4	Kontrol Simpangan (Drift).....	131
4.4.3.5	Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga .....	133
4.4.3.6	Kontrol Pengaruh P-Delta.....	135
4.5	Desain Struktur Primer Pratekan .....	136
4.5.1	Data Perencanaan .....	137
4.5.2	Dimensi Balok Penampang T .....	137
4.5.3	Tegangan Ijin.....	139

4.5.4	Analisa Gaya Pratekan.....	140
4.5.5	Daerah Limit dan Gaya Awal Pratekan .....	143
4.5.6	Penentuan Jumlah Strand.....	146
4.5.7	Perhitungan Kehilangan Pratekan .....	147
4.5.7.1	Kehilangan Pratekan Langsung .....	147
4.5.7.2	Kehilangan Tidak Pratekan Langsung .....	153
4.5.8	Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan .....	158
4.5.9	Kontrol Lendutan.....	160
4.5.10	Perhitungan Momen Retak .....	163
4.5.11	Perhitungan Tulangan Lentur .....	163
4.5.12	Perhitungan Tulangan Geser .....	173
4.5.13	Kontrol Momen Nominal.....	179
4.5.14	Perhitungan Angkur Ujung .....	185
4.5.15	Perhitungan Panjang Penyaluran .....	185
4.6	Desain Struktur Primer Non Pratekan.....	188
4.6.1	Desain Balok Induk .....	189
4.6.1.1	Data Perencanaan Balok Induk .....	189
4.6.1.2	Cek Syarat Struktur Penahan Gempa .....	191
4.6.1.3	Perhitungan Penulangan Torsi .....	192
4.6.1.4	Perhitungan Penulangan Lentur .....	194
4.6.1.5	Perhitungan Penulangan Geser .....	204
4.6.1.6	Perhitungan Panjang Penyaluran. ....	208
4.6.2	Desain Kolom.....	212
4.6.2.1	Data Perencanaan Kolom.....	212
4.6.2.2	Cek Syarat Struktur Penahan Gempa .....	213

4.6.2.3	Perhitungan Penulangan Lentur .....	214
4.6.2.4	Persyaratan “Strong Column Weak beam” ...	215
4.6.2.5	Perhitungan Penulangan Geser .....	218
4.6.2.6	Perhitungan Gaya Geser Desain ( $V_e$ ).....	221
4.6.2.7	Perhitungan Panjang Panyaluran .....	224
4.6.3	Hubungan Balok Kolom .....	225
4.6.3.1	Data Perencanaan HBK .....	225
4.6.3.2	Cek Syarat Panjang Joint .....	226
4.6.3.3	Luas efektif Joint .....	226
4.6.3.4	Penulangan Transversal HBK.....	227
4.6.3.5	Kuat Geser HBK.....	227
4.7	Desain Struktur Bangunan Bawah .....	230
4.7.1	Desain Sloof .....	230
4.7.1.1	Data Perencanaan Sloof .....	230
4.7.1.2	Cek Syarat Struktur Penahan Gempa .....	232
4.7.1.3	Perhitungan Penulangan Torsi .....	233
4.7.1.4	Perhitungan Penulangan Lentur .....	235
4.7.1.5	Perhitungan Penulangan Geser .....	245
4.7.1.6	Perhitungan Panjang Penyaluran .....	249
4.7.2	Desain Pondasi Tiang Pancang .....	252
4.7.2.1	Data Perencanaan Tiang Pancang .....	253
4.7.2.2	Beban Struktur .....	253
4.7.2.3	Daya Dukung Satu Tiang Pancang .....	254
4.7.2.4	Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok.....	257
4.7.2.5	Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang.....	259



4.7.2.6	Kontrol Kekuatan Terhadap Gaya Lateral ....	260
4.7.2.7	Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap .....	261
4.7.2.8	Desain Penulangan Pile Cap.....	266
BAB V PENUTUP .....		269
5.1	Ringkasan .....	269
5.2	Saran.....	272
DAFTAR PUSTAKA.....		273
LAMPIRAN .....		275

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi beton pratekan pra-tarik .....	11
Gambar 2. 2 Ilustrasi beton pratekan pasca tarik .....	11
Gambar 2. 3 Konsep beton pratekan sebagai bahan elastis.....	12
Gambar 2. 4 Momen penahan beton pratekan dan bertulang.....	13
Gambar 2. 5 Beton menggunakan baja mutu tinggi.....	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	22
Gambar 3. 2 Gempa maksimum resiko tertarget (Ss) .....	27
Gambar 3. 3 Gempa maksimum resiko tertarget ( $S_1$ ) .....	28
Gambar 3. 4 persyaratan tulangan lentur balok .....	34
Gambar 3. 5 Senggang tertutup (hoops) .....	35
Gambar 3. 6 Kuat gaya geser desain balok.....	35
Gambar 3. 7 Contoh tulangan transversal kolom.....	38
Gambar 3. 8 Syarat spasi tulangan transversal .....	39
Gambar 3. 9 Kuat geser kolom.....	39
Gambar 3. 10 Luas joint efektif HBK .....	41
Gambar 3. 11 Daerah limit tendon .....	42
Gambar 3. 12 Sketsa jarak antar pondasi dan tepi poer .....	50
Gambar 4. 1 Denah Preliminary Design Balok .....	53
Gambar 4. 2 Denah pelat lantai joint A-B.3-3' .....	56
Gambar 4. 3 Balok as A joint 3-3' .....	57
Gambar 4. 4 Balok as B joint 3-3' .....	58
Gambar 4. 5 Balok as 3 joint A-B .....	59
Gambar 4. 6 Balok as 3' joint A-B.....	60
Gambar 4. 7 Denah kolom yang ditinjau .....	62
Gambar 4. 8 Denah pelat lantai tipe P1 yang ditinjau.....	66
Gambar 4. 9 Dimensi pelat lantai tipe P1 .....	67
Gambar 4. 10 Denah tangga yang ditinjau .....	72
Gambar 4. 11 Desain dimensi tangga .....	74
Gambar 4. 12 Pembebanan struktur tangga .....	75
Gambar 4. 13 Gaya lintang pada tangga dan bordes.....	77
Gambar 4. 14 Gaya momen pada tangga dan bordes.....	78
Gambar 4. 15 Denah balok bordes yang ditinjau.....	84
Gambar 4. 16 Denah balok anak yang ditinjau .....	89

Gambar 4. 17 Tributari pembebanan balok anak .....	90
Gambar 4. 18 Denah balok lift yang ditinjau .....	97
Gambar 4. 19 Gaya momen balok lift .....	98
Gambar 4. 20 Gaya geser balok lift .....	98
Gambar 4. 21 Penampang lift.....	99
Gambar 4. 22 Denah balok kantilever yang ditinjau.....	104
Gambar 4. 23 Gaya momen balok kantilever .....	105
Gambar 4. 24 Gaya geser balok kantilever .....	105
Gambar 4. 25 Permodelan struktur dengan program ETABS ...	109
Gambar 4. 26 Grafik Respon Spektrum .....	127
Gambar 4. 27 Pembesaran torsi tak terduga .....	133
Gambar 4. 28 Denah balok pratekan yang ditinjau.....	136
Gambar 4. 29 Penampang T balok pratekan .....	138
Gambar 4. 30 $M_D$ tumpuan balok pratekan.....	141
Gambar 4. 31 $M_D$ lapangan balok pratekan .....	141
Gambar 4. 32 $M_{SD}$ tumpuan balok pratekan .....	141
Gambar 4. 33 $M_{SD}$ lapangan balok pratekan.....	142
Gambar 4. 34 $M_T$ tumpuan balok pratekan .....	142
Gambar 4. 35 $M_T$ lapangan balok pratekan .....	142
Gambar 4. 36 $T_u$ balok pratekan .....	142
Gambar 4. 37 $V_u$ tumpuan kanan balok pratekan .....	142
Gambar 4. 38 $V_u$ tumpuan kiri balok pratekan .....	143
Gambar 4. 39 $M_u$ tumpuan kanan balok pratekan.....	143
Gambar 4. 40 $M_u$ tumpuan kiri balok pratekan.....	143
Gambar 4. 41 $M_u$ lapangan balok pratekan .....	143
Gambar 4. 42 Daerah limit tendon .....	144
Gambar 4. 43 Perpendekan kolom .....	151
Gambar 4. 44 Panjang penyaluran kait balok pratekan.....	187
Gambar 4. 45 Denah balok induk yang ditinjau .....	189
Gambar 4. 46 $P_u$ balok induk.....	190
Gambar 4. 47 $T_u$ balok induk .....	190
Gambar 4. 48 $V_{1,2D+L}$ tumpuan kanan balok induk .....	190
Gambar 4. 49 $V_{1,2D+L}$ tumpuan kiri balok induk.....	190
Gambar 4. 50 $M_u$ tumpuan kanan balok induk .....	190
Gambar 4. 51 $M_u$ tumpuan kiri balok induk .....	191

Gambar 4. 52 $M_u$ lapangan balok induk .....	191
Gambar 4. 53 Panjang penyaluran kait balok induk .....	210
Gambar 4. 54 Denah kolom yang ditinjau .....	212
Gambar 4. 55 Diagram interaksi kolom dari PCACOL .....	214
Gambar 4. 56 Sketsa Kuat momen di HBK.....	215
Gambar 4. 57 Hasil PCACOL $M_n$ kolom atas arah x-x .....	217
Gambar 4. 58 Hasil PCACOL $M_n$ kolom bawah arah x-x .....	217
Gambar 4. 59 Hasil PCACOL $M_{pr}$ kolom atas arah x-x .....	221
Gambar 4. 60 Hasil PCACOL $M_{pr}$ kolom bawah arah x-x .....	221
Gambar 4. 61 Hasil ETABS gaya geser arah x-x .....	222
Gambar 4. 62 Hasil ETABS gaya geser arah y-y .....	222
Gambar 4. 63 Denah joint balok dan kolom .....	225
Gambar 4. 64 Sketsa gaya dalam yang bekerja di HBK .....	227
Gambar 4. 65 Denah sloof yang ditinjau .....	230
Gambar 4. 66 Gaya aksial sloof.....	231
Gambar 4. 67 Gaya torsi sloof.....	231
Gambar 4. 68 $V_{1,2D+L}$ tumpuan kanan sloof.....	231
Gambar 4. 69 $V_{1,2D+L}$ tumpuan kiri sloof.....	231
Gambar 4. 70 $M_u$ tumpuan kanan sloof .....	231
Gambar 4. 71 $M_u$ tumpuan kiri sloof .....	232
Gambar 4. 72 $M_u$ lapangan sloof .....	232
Gambar 4. 73 Panjang penyaluran kait sloof .....	251
Gambar 4. 74 Denah pondasi yang ditinjau .....	253
Gambar 4. 75 Dimensi poer dan jarak antar tiang .....	257
Gambar 4. 76 Output $M_n$ tiang pancang dari PCACOL .....	261
Gambar 4. 77 Gambar bidang kritis geser satu arah .....	263
Gambar 4. 78 Gambar bidang kritis geser dua arah.....	264
Gambar 4. 79 Mekanika beban poer.....	267

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penentuan jenis SRPM .....	6
Tabel 4.1 Rekapitulasi dimensi balok.....	55
Tabel 4. 2 Rekapitulasi tebal pelat.....	62
Tabel 4. 3 Pembebanan lantai atap .....	63
Tabel 4. 4 Pembebanan lantai 5-13 .....	64
Tabel 4. 5 Pembebanan lantai 2-4 .....	64
Tabel 4. 6 Pembebanan lantai 1 .....	65
Tabel 4. 7 Pembebanan lantai basement .....	65
Tabel 4. 8 Rekapitulasi dimensi kolom .....	66
Tabel 4. 9 Rekapitulasi penulangan pelat lantai .....	72
Tabel 4. 10 Rekapitulasi penulangan pelat tangga & bordes .....	84
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Penulangan Balok Bordes .....	89
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak.....	97
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Penulangan Balok Lift .....	104
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Penulangan Balok Kantilever.....	108
Tabel 4. 15 Beban total struktur gedung .....	110
Tabel 4. 16 Beban total struktur gedung dari ETABS .....	112
Tabel 4. 17 Kategori resiko bangunan .....	114
Tabel 4. 18 Data angin surabaya .....	115
Tabel 4. 19 Tipe struktur .....	115
Tabel 4. 20 Klasifikasi tertutupan .....	116
Tabel 4. 21 Koefisien tekanan .....	117
Tabel 4. 22 Kategori resiko bangunan .....	119
Tabel 4. 23 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa .....	119
Tabel 4. 24 Parameter $S_s$ dan $S_1$ wilayah Surabaya .....	119
Tabel 4. 25 Data $N_{SPT}$ .....	120
Tabel 4. 26 Penentuan Kategori Desain Seismik .....	121
Tabel 4. 27 Penentuan Sistem Penahan Gaya Seismik .....	122
Tabel 4. 28 Gaya gempa ( $F_x$ ) pada tiap lantai .....	124
Tabel 4. 29 Gaya gempa ( $F_y$ ) pada tiap lantai .....	125
Tabel 4. 30 Perhitungan Spektrum Desain .....	126
Tabel 4. 31 Periode struktur fundamental (T).....	129
Tabel 4. 32 Nilai akhir <i>base reaction</i> .....	129

Tabel 4. 33 Gaya geser dasar ( $V$ ) pada masing-masing arah ....	130
Tabel 4. 34 Jumlah respon ragam .....	131
Tabel 4. 35 Kontrol simpangan arah-X .....	132
Tabel 4. 36 Kontrol simpangan arah-Y .....	132
Tabel 4. 37 Joint displacement akibat beban spectra arah-x .....	133
Tabel 4. 38 Joint displacement akibat beban spectra arah-Y ....	134
Tabel 4. 39 Koefisien stabilitas tingkat .....	135
Tabel 4. 40 Koefisien stabilitas tingkat lanjutan.....	136
Tabel 4. 41 Hasil ETABS gaya dalam di kolom.....	213
Tabel 4. 42 Hasil SCWB pada HBK .....	218
Tabel 4. 43 Hasil reaksi kolom dari ETABS .....	254
Tabel 4. 44 Daya dukung ijin tanah.....	256
Tabel 4. 45 Jarak tiang pancang kolom .....	259
Tabel 4. 46 Rekapitulasi penulangan pile cap .....	268
Tabel 5. 1 Hasil rekapitulasi pelat lantai.....	269
Tabel 5. 2 Hasil rekapitulasi pelat tangga.....	269
Tabel 5. 3 Hasil rekapitulasi balok sekunder .....	270
Tabel 5. 4 Hasil rekapitulasi balok pratekan.....	270
Tabel 5. 5 Hasil rekapitulasi balok induk .....	270
Tabel 5. 6 Hasil rekapitulasi kolom.....	271
Tabel 5. 7 Hasil rekapitulasi sloof .....	271
Tabel 5. 8 Hasil rekapitulasi pondasi dan poer .....	271

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan pasar properti di Kota Pahlawan semakin berkembang pesat. Bahkan, Surabaya mulai menggeser Jakarta. Para investor properti mulai mengalihkan banyak investasinya di Surabaya yang dianggap kondusif serta pertumbuhan ekonominya lebih stabil. Tetapi, disisi lain lahan yang tersisa di Surabaya sangat minim mengingat pembangunan rumah dan gedung semakin meningkat. Minimnya lahan yang tersisa ini membuat pembangunan gedung diharuskan dibangun secara vertikal ke atas. Sehingga bangunan gedung bertingkat harus didesain tahan terhadap gempa. Untuk itu diperlukan desain khusus untuk menekan resiko yang terjadi akibat gempa tinggi. Salah satu sistem yang digunakan untuk desain tahan gempa tinggi adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Gedung Apartemen Pavilion Permata merupakan gedung yang terdiri dari 12 lantai dan 1 lantai semi basement yang berlokasi di kawasan Mayjen Sungkono, Surabaya. Gedung ini merupakan apartemen yang dibangun dengan fasilitas layanan sekelas hotel dan dengan dukungan teknologi terkini, sehingga dibutuhkan ruang pertemuan untuk menambah kelengkapan fasilitas pada apartemen. Maka perlu dilakukan modifikasi untuk ruang pertemuan dengan menambah 1 lantai menjadi 13 lantai dan 1 lantai semi basement. Ruang pertemuan ini didesain dengan kolom hanya berada di tepi agar dapat memaksimalkan tata guna dan memperluas ruang pertemuan. Ruang pertemuan pada lantai 13 ini dimodifikasi harus menjangkau bentang panjang yang efektif, efisien dan memiliki dimensi yang relatif kecil. Maka dari itu, balok didesain menjadi struktur beton pratekan dengan kemampuan dapat menahan lendutan yang besar dan dimensi yang minimal.

Terdapat perbedaan utama antara beton bertulang dan beton pratekan. Pada beton bertulang mengkombinasikan antara



beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan keinginannya, sedangkan pada beton pratekan mengkombinasikan antara beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dilakukan secara aktif. Hal ini dilakukan dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Baja adalah bahan yang dibuat untuk bekerja dengan kekuatan tarik yang tinggi oleh pratekan. Beton adalah bahan yang getas apabila terkena tarikan. Jadi beton pratekan merupakan kombinasi ideal dari dua bahan berkekuatan tinggi. (Lin dan Burns, 1996). Komponen struktur pratekan mempunyai tinggi lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang dalam kondisi bentang dan beban sama. Tinggi komponen struktur beton pratekan antara 65 sampai 80 persen dari tinggi komponen struktur beton bertulang. Dengan demikian, komponen struktur pratekan membutuhkan lebih sedikit beton, dan sekitar 20 sampai 35 persen banyaknya tulangan. (Edward G.Nawy, 2001) .

Untuk keamanan pada beban gravitasi dan lateral, gedung ini didesain dengan panduan peraturan persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847:2013), tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726:2012) dan beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung (SNI 1727:2013).

Oleh karena itu, desain modifikasi struktur gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Balok Pratekan harus dilakukan agar diperoleh desain gedung tahan terhadap gempa tinggi dan penggunaan balok pratekan dapat menyelesaikan permasalahan modifikasi menjadi efektif dan efisien.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain struktur utama gedung bertingkat yang berada pada zona gempa tinggi dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ?
2. Bagaimana mendesain struktur utama balok pratekan pada lantai atap ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mendesain struktur utama gedung bertingkat yang berada pada zona gempa tinggi dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
2. Dapat mendesain struktur utama balok pratekan pada lantai atap.

## 1.4 Batasan Masalah

Dari permasalahan diatas, agar penulisan tugas akhir ini lebih terarah, maka diberi batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Desain ini hanya meninjau struktur saja (tanpa meninjau analisa biaya, manajemen konstruksi dan arsitektural).
2. Tidak memperhitungkan saluran drainase, sistem utilitas, instalasi listrik dan *finishing*.
3. Metode yang digunakan pada balok pratekan adalah pasca-tarik (*post tension*).
4. Untuk desain struktur utama balok pratekan hanya pada lantai atap.

## 1.5 Manfaat

Manfaat dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memahami aplikasi dari metode sistem SRPMK dan beton pratekan pada pembangunan gedung bertingkat yang memenuhi persyaratan keamanan
2. Memahami hal-hal yang harus diperhatikan pada saat mendesain sehingga kegagalan struktur dapat diminimalisasi.
3. Dapat digunakan sebagai acuan untuk desain SRPMK dan beton pratekan kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Tugas akhir ini adalah desain modifikasi struktur gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan balok pratekan. Untuk itu diperlukan desain khusus untuk menekan resiko yang terjadi akibat gempa tinggi, yaitu menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pada lantai atap akan didesain ruang pertemuan dengan menggunakan balok pratekan, karena fungsinya sebagai ruangan yang cukup luas dengan kolom hanya berada di tepi. Dalam tinjauan pustaka ini akan dibahas beberapa dasar teori yang berkaitan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan struktur beton pratekan.

#### **2.2 Sistem Struktur**

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam SNI 1726-2012 Tabel 9. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 9. Koefisien modifikasi respons yang sesuai,  $R$ , faktor kuat lebih sistem dan koefisien amplifikasi defleksi, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 9 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Setiap sistem penahan gaya gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam Tabel 9 dan persyaratan tambahan yang ditetapkan dalam pasal 7.14 (Persyaratan perancangan dan pendetailan bahan).

### 2.2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang yang berfungsi untuk memikul beban gravitasi secara lengkap. Sedangkan beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. SRPM ini dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Berdasarkan SNI 2847-2013, perencanaan pembangunan gedung bertingkat untuk daerah dengan resiko gempa tinggi dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Struktur beton bertulang yang berada pada wilayah gempa dan resiko gempa kuat (kerusakan merupakan resiko utama), maka komponen struktur harus memenuhi syarat perencanaan dan pendetailan dari SNI 2847-2013 pasal 21.5.

Tabel 2. 1 Penentuan jenis SRPM

Standar atau aturan	Tingkat Resiko (kerawan) Kegempaan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
SNI 1726-2012, ASCE 7-10, SNI 2847-2013	KDS A,B	KDS C	KDS D

### 2.2.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

#### 1. Desain Balok SRPMK

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.5, balok didefinisikan sebagai komponen struktur yang terkena beban aksial terfaktor  $< A_g \frac{f_c}{10}$ . Untuk memenuhi kriteria  $C_D = 5,5$  yang menghasilkan balok SRPMK daktail, desain balok dibagi dalam 2 bagian :

- Balok perlu diamankan keutuhannya menghadapi respon inelastis oleh goyangan balok-balok struktur. Ketentuan ini tercantum di Pasal 21.5.1 – 21.5.3 SNI 2847-2013.
- Balok perlu menerapkan 3 macam *Capacity Design (CD)*, yaitu :
  - a) Mengamankan balok terhadap kegagalan oleh sambungan lewatan (SL)
  - b) Mengamankan kuat geser yang lebih kuat dari kuat lentur sendi plastis
  - c) Pengekangan betonnya agar dapat mengalami regangan kompresi lebih dari 0,003 akibat rotasi inelastis penampangnya

Desain kapasitas ini dijumpai pada subbab 5.5, 5.6 dan 5.7 yang berturut-turut menjelaskan CD syarat SL, CD syarat TT dan CD syarat kuat geser.

## 2. Desain Kolom SRPMK

Pedoman ini didahului oleh persyaratan geometris dan tulangan memanjang dan dilanjutkan dengan pedoman desain agar struktur mengikuti *beam mechanism* dan bertahan dalam kekuatannya dalam kurun perilaku inelastis oleh beban bolak-balik.

Persyaratan dimensi dan tulangan memanjang lebih banyak diperoleh dari pengalaman pelaksana konstruksi. Dimensi yang terlalu kecil akan menuntut p tulangan tinggi dan ini akan menimbulkan kongesti pada pengecoran beton.

Komponen SRPMK yang kena beban aksial terfaktor  $P_u$  oleh kombinasi beban apapun yang melebihi  $\frac{A_g \cdot f_c}{10}$  disebut kolom. Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.1.1 membatasi dimensi terkecil garis potong penampang yang melalui sentroid geometris tidak boleh lebih kecil dari 300 mm. Sedangkan Pasal 21.6.1.2 menentukan rasio sisi pendek kolom  $c_1$  terhadap sisi panjang,  $c_2$  tidak boleh kurang dari  $p,4$ .

Kolom kuat Balok lemah (Strong column weak beam) harus dicapai sesuai SNI 2847-2013 Pasal 21.6.2.1, yaitu

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

Dimana  $\sum M_{nc}$  adalah jumlah kuat momen nominal dari kolom di muka sisi atas dan bawah HBK, dan  $\sum M_{nb}$  adalah jumlah kuat momen nominal dari balok di muka sisi kanan dan kiri HBK.

### 3. Hubungan Balok Kolom SRPMK

Keutuhan menyeluruh SRPMK sangat ditentukan oleh perilaku hubungan balok kolom (HBK) saat struktur kena beban bolak-balik gempa kuat. Degradasi pada HBK yang dalam kondisi inelastis akan menghasilkan deformasi lateral besar yang dapat menyebabkan kerusakan berlebihan atau bahkan keruntuhan. Faktor-faktor penyebab kerusakan ini bisa akibat tulangan tarik memanjang balok tidak cukup terjangkar dalam HBK, atau kuat geser nominal HBK dilampaui atau HBK tidak mampu berperilaku daktail. Pasal 21.7.1 – 21.7.4 menetapkan pedoman-pedoman untuk meniadakan faktor-faktor penyebab ini agar HBK mampu sebagai bagian sistem struktur penahan gempa kuat.

## 2.3 Struktur Beton Pratekan

Terdapat perbedaan utama antara beton bertulang dan beton pratekan. Pada beton bertulang mengkombinasikan antara beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan keinginannya, sedangkan pada beton pratekan mengkombinasikan antara beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dilakukan secara aktif. Hal ini dilakukan dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Baja adalah bahan yang dibuat untuk bekerja dengan kekuatan tarik yang tinggi oleh pratekan. Beton adalah bahan yang getas apabila terkena tarikan.

Jadi beton pratekan merupakan kombinasi ideal dari dua bahan berkekuatan tinggi. (Lin dan Burns, 1996).

### 2.3.1 Gaya Pratekan

Gaya Pratekan dipengaruhi momen total yang terjadi. Gaya Pratekan ini yang kemudian disalurkan ke penampang disalurkan harus memenuhi kontrol batas pada saat kritis. (Lin dan Burns, 1996).

### 2.3.2 Tegangan ijin pada Baja dan Beton

Tegangan ijin Baja Sesuai SNI 2847 2013 pasal 18.5 tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut :

1. Tegangan ijin akibat gaya pengangkuran tendon yang bekerja pada kabel.  $0,94 f_{py}$  tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari  $0,8f_{pu}$  dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon Pratekan atau perangkat angkur.
2. Tendon pasca tarik pada daerah angkur dan sambungan sesaat setelah penyaluran gaya Pratekan.  $0,70 f_{pu}$

Tegangan ijin Beton Sesuai SNI 2847 2013 pasal 18.3.3 dan 18.4 :

1. Beton Pratekan akan diklasifikasikan sebagai kelas U sehingga tegangan serat terjauh dalam kondisi tarik pada saat beban layan  $\leq 0,62 \sqrt{f'c}$  , untuk kelas T  $0,62 \sqrt{f'c} < ft < 1,0 \sqrt{f'c}$  , untuk kelas C  $ft > 1 \sqrt{f'c}$
2. Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya Pratekan (sebelum terjadinya kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.1 tidak boleh melampaui nilai berikut :
  - a. Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan  $0,60 f'_{ci}$
  - b. Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan pada ujung-ujung komponen tumpuan sederhana  $0,70 f'_{ci}$



3. Tegangan beton pada kondisi beban layan (berdasarkan pada sifat penampang tak retak, setelah pembolehan untuk semua kehilangan Pratekan) untuk komponen struktur lentur Pratekan kelas U dan kelas T sesuai SNI 2847-2013 pasal 18.4.2 tidak boleh melampaui nilai berikut :
  - a. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh Pratekan, beban mati dan beban hidup tetap  $0,45f_{ci}$
  - b. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh Pratekan, beban mati dan beban hidup total  $0,60f_{ci}$

Dimana :

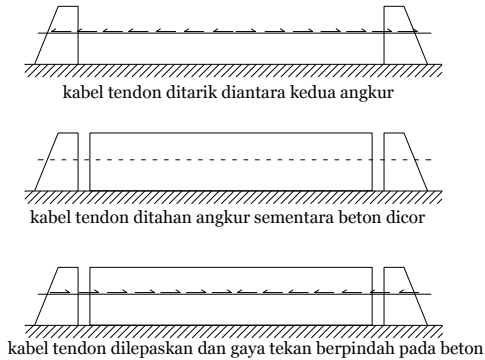
- $f_{pu}$  = kuat tarik tendon Pratekan yang diisyaratkan, MPa  
 $f_{py}$  = kuat leleh tendon Pratekan yang diisyaratkan, MPa  
 $f'_{ci}$  = kuat tekan beton saat Pratekan awal, MPa  
 $f'_c$  = kuat tekan beton yang diisyaratkan, Mpa

### 2.3.3 Metode Sistem Pratekan

#### 1. Sistem Pra tarik (Pre Tension)

Sistem pratarik dimana tendon terlebih dahulu ditarik antara blok-blok angkur yang rigid, lalu dicetak di atas tanah atau di dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik. Selanjutnya di cor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Oleh karena itu, semua metode pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan beton sekelilingnya, adalah penting bahwa setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang badan. Setelah beton mengering, tendon dilepaskan dari alas prapenarikan dan pratekan ditransfer ke beton.

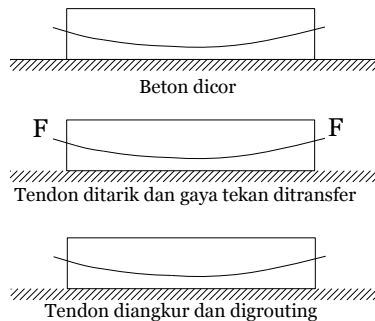
Transfer pratekan biasanya dilaksanakan dengan dongkrak hidrolik atau dongkrakan sekrup yang besar, dimana semua kawat dilepaskan secara bersamaan setelah beton mencapai kekuatan tekan yang disyaratkan.



Gambar 2. 1 Ilustrasi beton pratekan pra-tarik

## 2. Sistem Pasca tarik (Post Tension)

Sistem Pasca tarik dimana unit beton terlebih dahulu dicetak dengan memasukkan saluran atau ulur untuk menempatkan tendon. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan bantalan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya diteruskan ke beton oleh angkur ujung dan juga apabila kabel melengkung, melalui tekanan radial antara kabel dan saluran. Ruang antara tendon dan saluran pada umumnya digROUT setelah penarikan.



Gambar 2. 2 Ilustrasi beton pratekan pasca tarik

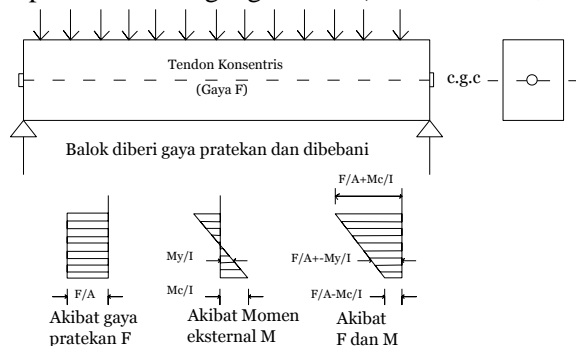
Berdasarkan pada ikatan tendon dengan betonnya, pasca-tarik terbagi menjadi dua bagian, yaitu :

- Bounded, setelah gaya Pratekan diaplikasikan pada beton, ruang kosong antara lubang dan tendon diisi dengan material grout.
- Unbounded, setelah gaya Pratekan diaplikasikan pada beton, ruang kosong antara lubang dan tendon dibiarkan begitu saja. Adapun perlindungan tendon dari korosi biasanya dilakukan dengan sistem yang tahan air (waterproof).

### 2.3.4 Prinsip Dasar Beton Pratekan

1. Sistem pratekan untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis

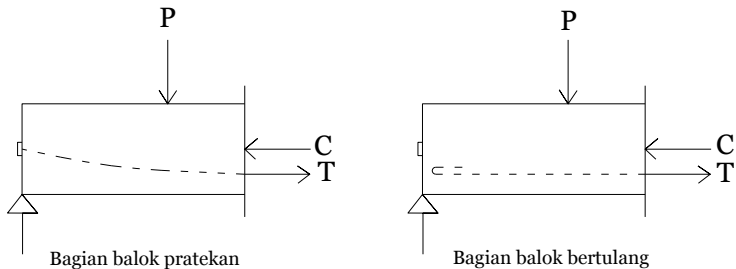
Pada konsep yang pertama ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Beton Pratekan pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu pada bahan tersebut. Beton yang pada dasarnya tidak mampu menahan tarik namun mampu memikul tekan dengan dilakukannya penekanan (pemberian gaya Pratekan) beton menjadi dapat memikul tegangan tarik (Lin dan Burns, 1996).



Gambar 2. 3 Konsep beton pratekan sebagai bahan elastis

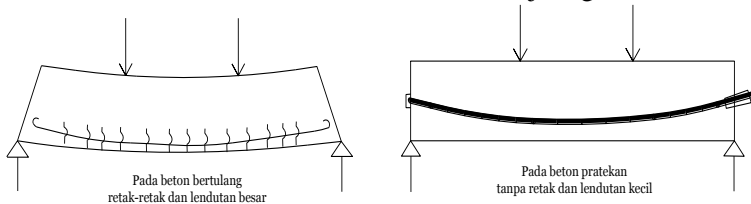
## 2. Sistem pratekan untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

Konsep ini mempertimbangkan beton pratekan sebagai kombinasi dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal.



Gambar 2. 4 Momen penahan beton pratekan dan bertulang

Pada beton pratekan baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Karena jika baja mutu tinggi tersebut ditanamkan seperti pada beton bertulang biasa, akan terjadi retak – retak di beton sekitar sebelum seluruh kekuatan baja digunakan.



Gambar 2. 5 Beton menggunakan baja mutu tinggi

## 3. Sistem pratekan untuk mencapai kesetimbangan beban.

Konsep ini menggunakan Pratekan sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan disain struktur beton Pratekan, pengaruh dari Pratekan dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri pelat,

balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

### **2.3.5 Kehilangan Gaya Pratekan**

Gaya pratekan awal yang diberikan ke elemen beton mengalami proses reduksi yang progresif, reduksi yang mengurangi besarnya gaya prategang awal disebut sebagai kehilangan pratekan dimana kehilangan pratekan yang terjadi sesuai dengan tahapan-tahapan kondisi beban kerja. Gaya pratekan yang telah dikurangi oleh reduksi akibat kehilangan pratekan disebut sebagai gaya pratekan efektif. Reduksi gaya pratekan dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu :

- Kehilangan elastis segera (kehilangan langsung)
 

Kehilangan secara langsung terdiri dari :

  1. Kehilangan perpendekan elastis
  2. Kehilangan akibat pengangkur
  3. Kehilangan akibat gesekan (Wooble efek)
  4. Kehilangan akibat kekangan kolom
- Kehilangan yang bergantung pada waktu (kehilangan tidak langsung)
 

Adapun macam kehilangan tidak langsung adalah sebagai berikut:

  1. Kehilangan akibat susut
  2. Kehilangan akibat rangkai
  3. Kehilangan akibat relaksasi baja

Berikut ini penjelasan dari kehilangan Pratekan :

1. Perpendekan elastis beton (ES)

Pada struktur yang menggunakan kabel tunggal, tidak mengalami kehilangan gaya Pratekan akibat perpendekan beton, karena gaya pada kabel diukur setelah perpendekan tersebut terjadi. Namun pada penampang yang memakai lebih dari satu kabel, maka kehilangan gaya Pratekan ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik dan memakai harga setengahnya untuk mendapatkan rata-rata semua kabel.

## 2. Pengankuran

Slip pada angkur terjadi sewaktu kawat dilepaskan dari mesin penarik dan ditahan pada angkur. Peralatan angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi.

Kehilangan ini terjadi pada saat tendon ditarik sampai nilai gaya prategang penuh kemudian dongkrak dilepas sehingga gaya prategang teralihkan ke angkur. Pada metode pascatarik setelah pemberian gaya prategang dan dongkrak dilepas gaya *jacking* dialihkan ke angkur. Perlengkapan dalam angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung mengalami deformasi, sehingga tendon dapat tergelincir sedikit.

## 3. Gesekan kabel (*wooble efect*)

Pada struktur beton pratekan dengan tendon yang melengkung diketahui adanya gesekan pada sistem penarik (*jacking*) dan angkur sehingga tegangan yang ada pada tendon lebih kecil daripada yang terdapat pada alat baca tekanan (*pressure gauge*). Kehilangan gaya pratekan akibat gesekan yang lebih serius terjadi diantara tendon dan bahan sekelilingnya. Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong.

Besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut sebagai efek kelengkungan dan deviasi lokal dalam alinyemen yang disebut efek tendon yang biasa disebut sebagai *wooble efect*. Pada saat tendon ditarik dengan gaya  $F_o$  di ujung pendongkrakan, maka tendon tersebut akan mengalami

gesekan sehingga tegangan pada tendon akan bervariasi dari bidang pendongkrakan ke jarak  $L$  di sepanjang bentang. Sedangkan, efek *Wooble* mengakibatkan gesekan antara beton dan tendon baja yang dapat menyebabkan kehilangan oleh ketidaksempurnaan dalam alinyemen di sepanjang tendon.

#### 4. Kehilangan Pratekan Akibat Kekangan Kolom

Konstruksi beton pratekan dengan desain cor monolit perlu diperhitungkan kehilangan pratekan akibat kekangan kolom. Hal ini dapat terjadi karena saat dilakukan jacking beton terkekang oleh kekakuan kolom, gaya perlawanan yang diberikan oleh kolom menahan reaksi perpendekan beton akibat gaya jacking yang terjadi. Gaya perlawanan kolom ini menyebabkan berkurangnya gaya pratekan karena sebagian gaya prategang digunakan untuk mengatasi perlawanan gaya kolom.

Semakin kaku komponen kolom yang mengekang balok pratekan maka semakin besar gaya pratekan yang hilang untuk melawan kolom agar mengikuti lenturan balok akibat gaya jacking hal ini juga menyebabkan semakin besarnya momen yang diterima kolom sebagai kontribusi dari jacking yang terjadi, demikian pula jika kolom didesain tidak kaku maka semakin kecil gaya kehilangan prategang balok akibat kekangan dan semakin kecil momen yang diterima kolom akibat gaya jacking yang terjadi.

#### 5. Susut Beton (SH)

Besarnya susut beton dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, waktu perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian prategang, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan.

Kehilangan pratekan akibat susut dipengaruhi oleh ratio penampang dan kelembaban udara. Jika kelembaban udara relatif

rata rata diasumsikan sebesar  $RH = 80\%$  maka perbandingan ratio penampang  $\frac{V}{S}$ .

#### 6. Rangkak (CR)

Rangkak dianggap terjadi akibat beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya Pratekan. Bagian dari regangan awal disebabkan pada beton segera setelah peralihan gaya Pratekan dikurangi oleh regangan tarik yang dihasilkan oleh beban mati permanen.

Akibat rangkak kehilangan dipengaruhi oleh tegangan beban mati tambahan yang bekerja setelah transfer prategang. Sehingga nilai  $f_{csd}$  adalah tegangan yang didapat dari momen akibat beban mati tambahan tanpa termasuk berat sendiri balok dan  $f_{cs}$  merupakan tegangan beton pada daerah cgs akibat gaya prategang sesaat setelah transfer. Besarnya nilai creep dapat dihitung dengan perumusan berikut:

#### 7. Relaksasi baja

Yaitu akibat terjadinya perpendekan elastis (kehilangan gaya Pratekan seketika setelah peralihan) dan gaya Pratekan yang tergantung waktu, CR dan SH ada pengurangan berkelanjutan pada tegangan beton, jadi kehilangan gaya Pratekan akibat relaksasi berkurang. Sebenarnya balok Pratekan mengalami perubahan regangan baja yang konstan di dalam tendon bila terjadi rangkak yang tergantung pada nilai waktu.

### 2.3.6 Momen Retak

Momen Retak ( $M_{cr}$ ) pada struktur beton pratekan dihitung berdasarkan teori elastik. Retak terjadi apabila serat beton terjauh mencapai *modulus of Rupture* ( $f_r$ ) sebesar  $0,62 \sqrt{f'_c}$ .

Perhitungan kuat ultimate dari balok prategang harus memenuhi persyaratan SNI 2847-2013 pasal 18.8.2 mengenai jumlah total baja tulangan non-prategang dan prategang harus



cukup untuk dapat menghasilkan beban terfaktor paling sedikit 1,2 beban retak yang terjadi berdasarkan nilai modulus retak  $f_r = 0,62\sqrt{f_c'}$ , sehingga didapat  $\phi Mu \geq 1,2 M_{cr}$  dengan nilai  $\phi = 0,9$ .

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retak retak rambut pertama pada balok prategang dihitung dengan teori elastis dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tarik pada serat beton mencapai modulus keruntuhannya. Harus diperhatikan pula bahwa modulus keruntuhan hanyalah merupakan ukuran permulaan retak rambut pertama seringkali tidak terlihat oleh mata telanjang. Nilai momen retak dapat dihitung sebagai berikut (dengan asumsi tanda (+) adalah serat yang mengalami tekan)

### 2.3.7 Momen nominal

Kontrol penampang dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas penampang rencana apakah mampu menahan momen ultimate yang terjadi. Nilai momen nominal yang terjadi bergantung desain penampang apakah menggunakan tulangan lunak terpasang atau tidak. Selain itu juga bergantung pada jenis penampang balok.

### 2.3.8 Lendutan pada balok pratekan

Kemampuan layan struktur beton prategang ditinjau dari perilaku defleksi komponen tersebut. Elemen beton prategang memiliki dimensi yang lebih langsing dibanding beton bertulang biasa sehingga kontrol lendutan sangat diperlukan untuk memenuhi batas layan yang disyaratkan.

#### Lendutan Ijin

Lendutan ijin pada komponen beton prategang harus memenuhi syarat Tabel 3 SNI 2847-2013 pasal 5.2.7 yaitu

lendutan untuk konstruksi yang menahan atau yang disatukan oleh komponen non struktural sebesar:

#### Lendutan Awal Saat Jacking

Pada saat awal transfer gaya pratekan nilai lendutan yang terjadi salah satunya akibat tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke arah atas. Sedangkan syarat ijin lendutan mengarah ke bawah, sehingga lendutan akibat tendon dapat melawan lendutan kebawah yang diakibatkan oleh beban dan berat sendiri.

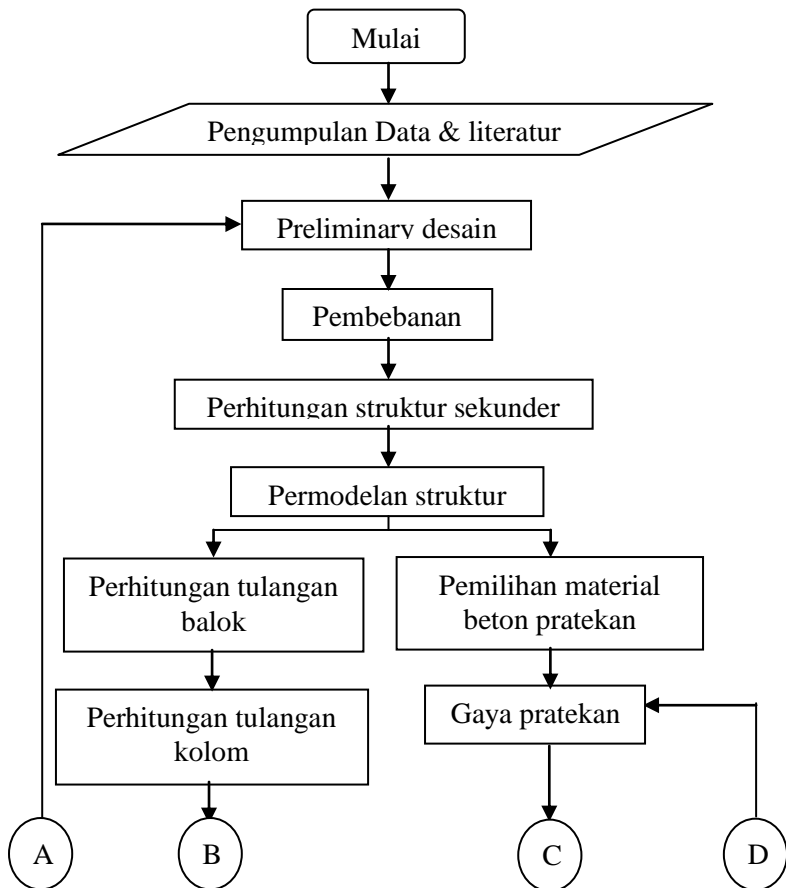
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

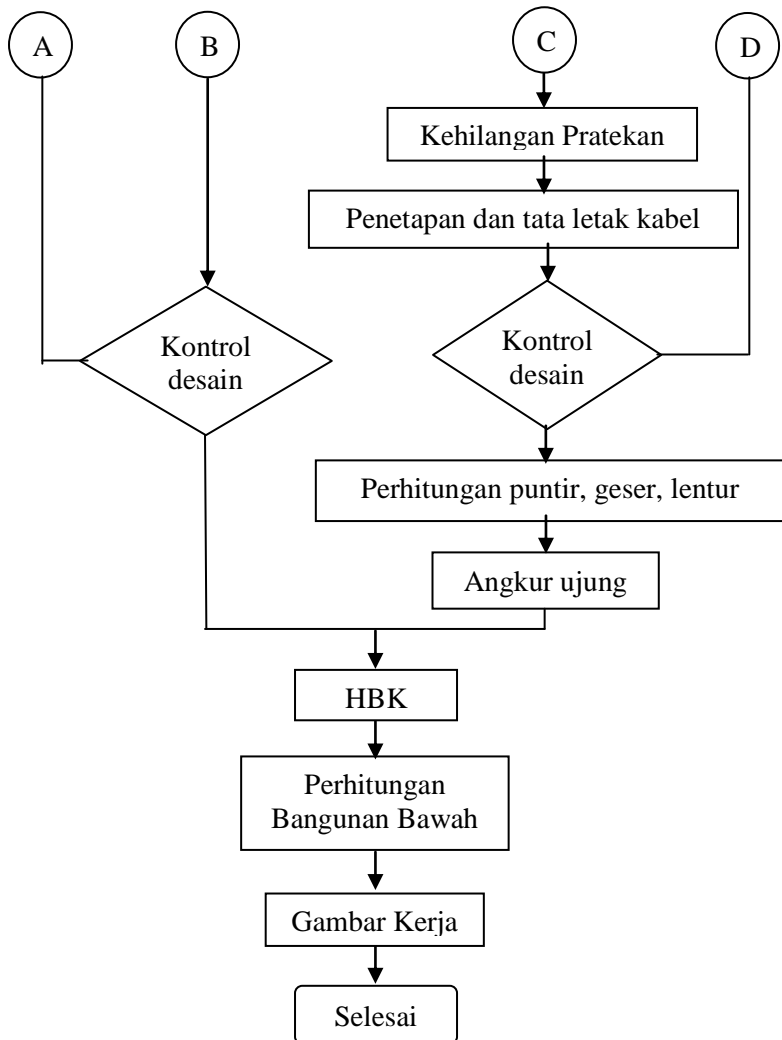
## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Umum

Dalam mengerjakan tugas akhir maka perlu diuraikan urutan metode pengerjaan tugas akhir ini.

### 3.2 Diagram Alir





Gambar 3. 1 Diagram Alir

### 3.3 Pengumpulan Data

Berikut data yang digunakan untuk merencanakan tugas akhir ini :

1. Gambar Struktur
2. Data Tanah
3. Data-data umum dari gedung adalah :
 

Nama Gedung	: Apartemen Pavilion Permata
Fungsi Gedung	: Apartemen
Lokasi	: Surabaya
Panjang bangunan	: 63 m
Lebar bangunan	: 13,65 m
Tinggi Bangunan	:
Lantai semi basement	: 1,5 m
Lantai 1-13	: 3 m
Lantai atap	: 4,2 m
Tinggi Total	: 43,2 m
Mutu Beton balok ( $f'_c$ )	: 30 Mpa
Mutu Beton kolom ( $f'_c$ )	: 35 MPa
Mutu Beton Pratekan ( $f'_c$ )	: 40 MPa
Mutu Baja tul. pelat ( $f_y$ )	: 280 MPa
Mutu Baja tul. lentur ( $f_y$ )	: 420 MPa
Mutu Baja tul. Geser ( $f_y$ )	: 420 MPa

### 3.4 Studi Literatur

Studi literatur dengan cara mempelajari perncanaan bangunan beton Pratekan dan struktur lainnya, beberapa literatur yang dipelajari yaitu :

1. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)
3. Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung (SNI 1727-2013)

4. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan 1983)
5. Desain Struktur Beton Pratekan edisi ketiga (T.Y.Lin, 1996)
6. Beton Prategang (Edward G. Nawy)
7. Dan beberapa referensi lainnya

### **3.5 Preliminary Design**

#### **3.5.1 Struktur Sekunder**

Dalam *preliminary design* struktur sekunder ada persyaratan sebagai berikut :

1. Perencanaan Pelat  
Penentuan dimensi Pelat Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.3.
2. Perencanaan Tangga  
Pada perencanaan tangga, desain awal adalah mencari lebar dan tinggi injakan sesuai dengan tinggi struktur. Kemudian kontrol sudut kemiringan tangga harus  $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$
3. Perencanaan Balok anak, bordes dan kantilever  
Pada perencanaan dimensi balok ini berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 9.5.2 atau tabel 9.5(a)
4. Perencanaan Balok lift  
Pada perencanaan balok lift diawali dengan penentuan kapasitas *lift* yang akan digunakan. Balok *lift* dihitung berdasarkan fungsi sebagai balok pengangkat dan balok perletakan. Kemudian menentukan dimensi balok lift berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 9.5.2 atau tabel 9.5(a)

#### **3.5.2 Struktur Utama Non Pratekan**

Dalam *preliminary design* struktur primer ada persyaratan sebagai berikut :

1. Perencanaan Balok Induk

Perencanaan dimensi balok induk dimulai dari penentuan tinggi balok berdasarkan SNI 2847 2013 tabel 9.5(a). Untuk lebar balok diatur di SNI 2847 2813 pasal 21.5.1.3 dimana dijelaskan bahwa lebar balok ( $b_w$ ) tidak boleh kurang dari  $0,3h_{\min}$  dan 250 mm.

## 2. Perencanaan Kolom

Perencanaan dimensi kolom harus memperhatikan beban aksial terfaktor yang terjadi ( $P_u$ ) . Untuk dimensi kolom diatur di SNI 2847 2813 pasal 21.6.1.1 diameter penampang terpendek tidak boleh lebih kecil dari 300 mm, kemudian pasal 21.6.1.2 rasio sisi pendek terhadap sisi panjang tidak boleh kurang dari 0,4.

### 3.5.3 Struktur Utama Pratekan

Perencanaan dimensi balok pratekan pada umumnya, tinggi komponen ( $h$ ) struktur beton pratekan berkisar antara 65 % - 80 % dari tinggi komponen struktur beton bertulang biasa. (Edward G.Nawy, 2001)

### 3.6 Pembebanan

Pada perencanaan ini pembebanan menggunakan brosur, PPIUG 1983 dan SNI 1727-2013 untuk beban mati dan hidup, SNI 1726 2012 untuk beban gempa, dan SNI 2847 2013 untuk kombinasi beban.

#### 1. Beban mati

Terdiri dari beban struktur sendiri dan beban tambahan, seperti, spesi, keramik, dinding, aspal, plafond, penggantung plafond, pemipaan air dan AC & instalasi listrik.

#### 2. Beban hidup

Beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan. Beban hidup dibagi beberapa jenis, meliputi : Lantai Atap, Ruang Pribadi, Lantai



Koridor, Ruang Publik, Ruang Pertemuan, Lantai Basement, Pelat Tangga dan Bordes.

3. Beban gempa

Beban gempa yang digunakan sesuai SNI 1726-2012, dimana wilayah gempa terbagi sesuai percepatan respon spektrumnya. Beban geser dasar nominal statik ekivalen  $V$  yang terjadi dari tingkat Dasar dihitung sesuai SNI 1726-2012 pasal 7.8.  $V$  ini harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung ke masing-masing lantai ( $F$ ) sesuai SNI 1726-2012 pasal 7.8.3.

Menurut SNI 2847-2013, beban gempa yang dialami oleh struktur sebagian dipikul oleh komponen pratekan hanya diperbolehkan maksimal 25% dari beban gempa yang terjadi.

4. Beban Kombinasi

Beban-beban yang dibebankan kepada struktur tersebut dibebankan kepada komponen struktur menggunakan kombinasi beban berdasarkan SNI 2847:2013 ps. 9.2

Persamaan 1  $U = 1,4D$

Persamaan 2  $U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$

Persamaan 3  $U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$

Persamaan 4  $U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$

Persamaan 5  $U = 1,2D + 1,0E + 1,0L$

Persamaan 6  $U = 0,9D + 1,0W$

Persamaan 7  $U = 0,9D + 1,0E$

Dimana :

$Lr$  = beban hidup atap ;  $D$  = beban mati

$L$  = beban hidup ;  $E$  = beban gempa

$R$  = beban hujan ;  $W$  = beban angin

### 3.7 Analisa Beban Gempa

Berikut beberapa tinjauan mengenai perhitungan gempa yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kriteria design yang paling cocok untuk perhitungan struktur yang tahan gempa. Menurut SNI 1726 2013, gempa rencana ditetapkan sebagai

gempa dengan kemungkinan terlewatasi besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %.

### 3.7.1 Faktor Keutamaan Gempa

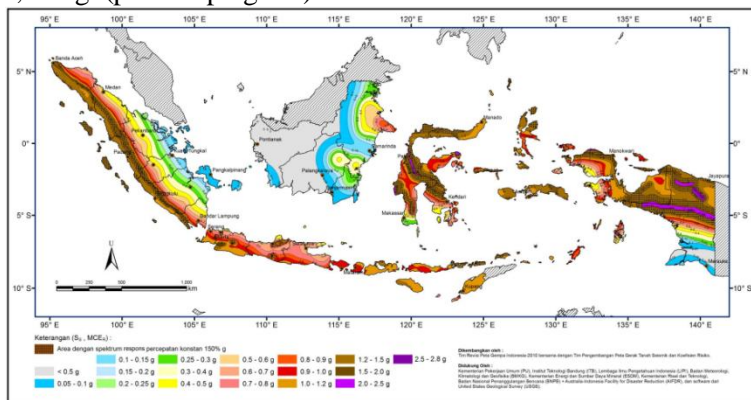
Faktor keutamaan gempa ditentukan dari jenis pemanfaatan gedung sesuai dengan kategori resiko pada peraturan SNI 1726-2012 tabel 1 dan 2. Kategori resiko untuk gedung apartemen masuk dalam kategori resiko II dengan factor keutamaan gempa ( $I$ ) 1.

### 3.7.2 Kelas Situs

Kelas situs didapatkan dari data perencanaan tugas akhir ini. Untuk data didapatkan nilai N (Test SPT) sampai kedalaman 30 meter. Berdasarkan SNI 1726 tabel 3 dari data tersebut termasuk kelas situs tanah sedang (SD).

### 3.7.3 Parameter Parameter Percepatan Tanah

Pada daerah Surabaya mempunyai parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda pendek 0.2 detik ( $S_s$ ) sebesar 0,663 g dan parameter respon spectral percepatan gempa terpetakan untuk perioda 1 detik ( $S_1$ ) sebesar 0,247 g. (puskim.pu.go.id)



Gambar 3. 2 Gempa maksimum resiko tertarget ( $S_s$ )

Pada penentuan respon spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $M_{\text{CER}}$ ) sesuai SNI 1726 2012 pasal 6.2 dan menurut tabel 4 dan tabel 5. Sehingga diperoleh data  $S_s$ ,  $S_1$ ,  $F_a$ ,  $F_v$ .

$$\mathbf{S}_{M1} = \mathbf{F}\mathbf{v} \times \mathbf{S1}$$

Perhitungan percepatan spektral desain sesuai SNI 1726-2012 pasal 6.3

$$S_{DI} = 2/3 S_{M1}$$

Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 pada SNI 1726-2012 serta menggunakan parameter yang telah ditentukan maka akan didapatkan kategori desain seismik yang sesuai.

Periode struktur fundamental,  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji, untuk saat

ini hal tersebut baru dapat didekati dengan menggunakan hasil analisis komputer. Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.9.4.1, Periode fundamental struktur ( $T$ ) yang digunakan:

- Jika  $T_c > C_u \times T_a$  maka digunakan  $T = C_u \times T_a$
- Jika  $T_a < T_c < C_u \times T_a$  maka digunakan  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$  maka digunakan  $T = T_a$

Dimana :

$T_a$  = Periode Fundamental pendekatan

$C_u$  = Koefisien untuk batas atas

$T_c$  = Periode struktur yang dihitung dengan program analisis komputer.

### 3.7.7 Koefisien respon seismik ( $C_s$ )

Ditentukan berdasarkan dengan peraturan SNI 17262012 pasal 7.8.1.1.

$$C_s = \frac{SDS}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung diatas tidak boleh melebihi nilai berikut ini:

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$C_s$  harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 SDS \cdot I_e \geq 0,01$$

Untuk struktur yang berlokasi di S1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0,5 S1}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

### 3.7.8 Gaya Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaat berikut :

$$V = C_s \times W_t$$

Dimana :

$V$  = Gaya geser dasar sesimik

Cs = koefisien respons seismik  
 W = berat seismik efektif

### 3.7.9 Kontrol kelayakan struktur terhadap gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012, hasil analisis struktur harus dikontrol melalui suatu batasan tertentu. Hal tersebut dilakukan untuk meninjau kelayakan struktur dalam memikul beban – beban yang bekerja. Kontrol – kontrol tersebut antara lain :

- Periode Struktur Fundamental
- Kontrol Akhir *Base Reaction*
- Jumlah Respon Ragam
- Kontrol Simpangan
- Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga
- Kontrol Pengaruh P – Delta

## 3.8 Desain Struktur Sekunder

### 3.8.1 Desain Pelat

Langkah awal dalam desain pelat, yaitu pembebanan beban mati dan hidup sesuai jenis pelat masing-masing.

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3 faktor  $\beta_1$  harus diambil 0,85 untuk beton dengan nilai kuat tekan  $f'_c$  antara 17 dan 28 MPa, untuk beton dengan nilai kuat tekan  $f'_c$  diatas 28 MPa,  $\beta_1$  harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 MPa diatas 28 MPa, tetapi  $\beta_1$  tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Tulangan susut dan suhu (SNI 2847-2013 pasal 7.12) harus paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak boleh kurang dari 0,0014:

- a. Plat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 atau 350 MPa,  $\rho = 0,002$
- b. Plat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 420 MPa,  $\rho = 0,0018$

- c. Plat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar

$$0,35 \%, \rho = \frac{0,0018 \times 420}{f_y}$$

Luas tulangan pokok minimal pada komponen struktur lentur menurut SNI 2847-2013 pasal 10.5 tidak boleh kurang dari sebagai berikut:

a.  $A_{s_{\min}} = \frac{1,4b_w d}{f_y}$ , (untuk mutu beton  $f'_c \leq 31$  MPa)

b.  $A_{s_{\min}} = \frac{f'_c}{4f_y} b_w d$ , (untuk  $f'_c \geq 31$  MPa)

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.3.2 spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dua kali tebal slab

Tebal selimut beton minimal menurut SNI 2847-2013 pasal 7.7.1 adalah sebagai berikut :

- a. Beton yang dicor diatas dan selalu berhubungan dengan tanah = 75 mm.
- b. Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau tanah :  
 Slab, dinding, balok usuk:  
 Untuk batang tulangan D 44 dan D 57 = 40 mm.  
 Untuk batang tulangan D 36 dan lebih kecil = 20 mm.  
 Balok, Kolom :  
 Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral = 40 mm.

### 3.8.2 Desain Tangga

Dalam desain penulangan pelat tangga dan bordes, dilakukan sama seperti desain penulangan pelat.

### 3.8.3 Desain Balok Sekunder

Dalam desain balok sekunder meliputi balok bordes, balok anak, balok lift dan balok kantilever. Pada prinsipnya desain balok ini sama semua, hanya berbeda pada beban yang

diterima struktur. Langkah awal dalam desain balok, yaitu pembebanan beban mati dan hidup sesuai jenis balok.

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3 faktor  $\beta_1$  harus diambil 0,85 untuk beton dengan nilai kuat tekan  $f'_c$  antara 17 dan 28 MPa, untuk beton dengan nilai kuat tekan  $f'_c$  diatas 28 MPa,  $\beta_1$  harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan 7 MPa diatas 28 MPa, tetapi  $\beta_1$  tidak boleh diambil  $< 0,65$ .

Luas tulangan pokok minimal pada komponen struktur lentur menurut SNI 2847-2013 pasal 10.5 tidak boleh kurang dari sebagai berikut:

- a. 
$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4b_w d}{f_y}, \text{ (untuk mutu beton } f'_c \leq 31 \text{ MPa)}$$
- b. 
$$A_{s_{\min}} = \frac{f'_c}{4f_y} b_w d, \text{ (untuk } f'_c \geq 31 \text{ MPa)}$$

Tebal selimut beton minimal menurut SNI 2847-2013 pasal 7.7.1 adalah sebagai berikut :

- a. Beton yang dicor diatas dan selalu berhubungan dengan tanah = 75 mm.
- b. Beton yang tidak berhubungan dengan cuaca atau tanah :  
Slab, dinding, balok usuk:  
Untuk batang tulangan D 44 dan D 57 = 40 mm.  
Untuk batang tulangan D 36 dan lebih kecil = 20 mm.  
Balok, Kolom :  
Tulangan utama, pengikat, sengkang, spiral = 40 mm.

Dalam desain tulangan geser harus memenuhi persyaratan berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.1.1.

Ketentuan desain :

$$V_n = V_c + V_s$$

Dimana :

$V_n$  = beban geser nominal

$V_c$  = kuat geser yang disumbangkan beton

$V_s$  = kuat geser yang disumbangkan tulangan geser

Syarat-syarat desain :

1.  $V_u \leq 0,5 \phi V_c$   
(tidak perlu tulangan geser)
2.  $0,5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$   
(perlu tulangan geser minimum)
3.  $\phi V_c < V_u \leq \phi (V_c + V_{s \min})$   
(perlu tulangan geser minimum)
4.  $\phi (V_c + V_{s \min}) < V_u \leq \phi \left( V_c + \frac{1}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \right)$   
(perlu tulangan geser)
5.  $\phi \left( V_c + \frac{1}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \right) < V_u \leq \phi \left( V_c + \frac{2}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \right)$   
(perlu tulangan geser)

### 3.9 Permodelan Struktur

Pada tugas akhir ini permodelan struktur menggunakan software ETABS untuk mendapatkan reaksi dan gaya dalam yang terdapat pada struktur utama. Kemudian hasil output dari analisis struktur digunakan untuk perhitungan desain struktur.

### 3.10 Desain Struktur Utama Non Pratekan

Setelah memperoleh analisa gaya dalam dari ETABS dilakukan kontrol desain. Kontrol desain yang dilakukan adalah pada beton bertulang biasa menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dilakukan penulangan sesuai SNI 2847-2013.

#### 3.10.1 Desain Balok induk

Sebelum perhitungan penulangan balok, harus dilakukan kontrol terhadap syarat komponen struktur balok yang memenuhi persyaratan SRPMK sebagai berikut :



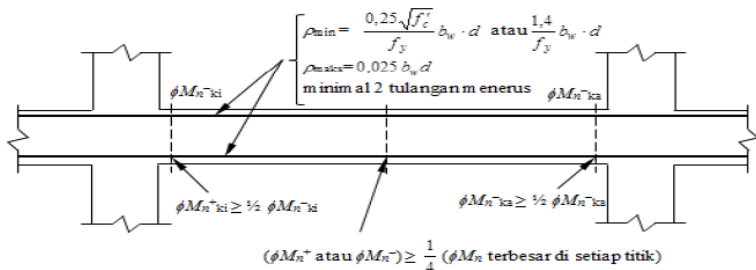
- Gaya tekan aksial terfaktor pada balok,  $P_u < \frac{A_g \times f_c'}{10}$
- Bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n \geq 4 \times d$
- Lebar komponen,  $b_w \geq 0,3 \times h$  atau 250 mm
- Lebar efektif maks,  $b_w \leq 3 \times c_2$  atau  $c_2 + 2(0,75 \times c_1)$

#### Penulangan memanjang balok SRPMK

Luas tulangan pokok minimal pada komponen struktur lentur menurut SNI 2847-2013 pasal 21.5.2.1 tidak boleh kurang dari sebagai berikut:

- $A_{s_{\min}} = \frac{1,4b_w d}{f_y}$ , (untuk mutu beton  $f'_c \leq 31$  MPa)
- $A_{s_{\min}} = \frac{f'_c}{4f_y} b_w d$ , (untuk  $f'_c \geq 31$  MPa)

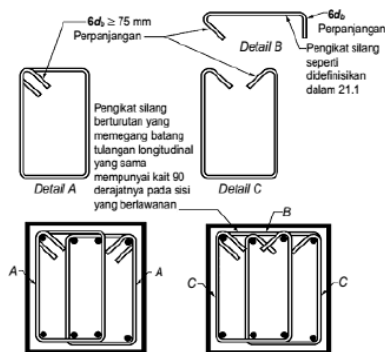
Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.3, kuat momen sepanjang balok sebagai berikut :



Gambar 3. 4 persyaratan tulangan lentur balok

#### Pemasangan Tulangan Transversal

Tulangan transversal dibutuhkan untuk mengekang beton dan menahan agar tulangan memanjang tidak menekuk keluar di daerah tulangan yang mencapai  $f_y$ . Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3 contoh tulangan tertutup sebagai berikut :



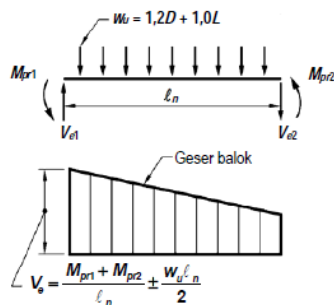
Gambar 3. 5 Senggang tertutup (hoops)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1, hoops ini harus dipasang sepanjang  $2h$  dari sisi muka kolom terdekat.

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2, hoops pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat dan berikutnya dipasang dengan spasi terkecil dari  $d/4$ ,  $6 \times D_{tul}$  dan 150 mm.

### Kuat Geser Balok

Kuat geser desain ( $V_e$ ) untuk komponen lentur harus didesain dengan gaya geser hasil momen maksimum yang terjadi ( $M_{pr}$ ) yang bekerja pada ujung balok.  $V_e$  harus dicari dari nilai terbesar akibat gempa arah kanan dan kiri. Kondisi tersebut diuraikan dalam gambar berikut :



Gambar 3. 6 Kuat gaya geser desain balok

### Panjang Penyaluran balok

Panjang penyaluran tulangan tarik:

Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 12.12.3, diambil paling sedikit sepertiga tulangan tarik total yang dipasang untuk momen negatif pada tumpuan harus mempunyai panjang melewati titik belok tidak kurang dari  $x + 12d_b$ ,  $x + d$  dan  $x+ln/16$ , diambil terbesar.

Selanjutnya dibandingkan dengan rumus berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 12.2.1 dan diambil yang terbesar.

$$l_d = d_b \times \frac{f_y \times \Psi_t \times \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}}$$

Syarat :

$$l_d > 300 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik:

Menurut SNI 2847-2013 Ps.12.5.1, panjang penyaluran  $l_{dh}$  untuk tulangan tarik dengan kait standar  $90^\circ$  dalam beton berat normal adalah

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times f_y \times db}{\sqrt{f'_c}}$$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8db$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

Untuk perhitungan panjang kait adalah  $12db$  .

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan diambil terbesar dari berikut :

$$l_{dh1} = \frac{0,24 \times f_y \times db}{\sqrt{f'_c}}$$

$$l_{dh2} = 0,043 \times f_y \times d_b$$

Syarat

$$l_{dh} > 200 \text{ mm}$$

### 3.10.2 Desain Kolom

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam desain kolom, harus dilakukan kontrol terhadap syarat komponen struktur kolom memenuhi persyaratan SRPMK sebagai berikut :

- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom

melebihi  $\frac{A_g f'_c}{10}$ . (SNI 2847-2013 pasal 21.3.2).

- Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm
- Rasio lebar dan tinggi balok tidak kurang dari 0,4

#### Penulangan memanjang kolom SRPMK

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.3.1, luas tulangan longitudinal dibatasi tidak boleh kurang dari 0,01  $A_g$  atau lebih dari 0,06  $A_g$

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$\begin{aligned}\phi P_{n,\text{maks}} &= 0,8 \cdot \phi \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_{st})) + (f_y \cdot A_s) \\ \phi P_{n,\text{maks}} &\geq \phi P_n\end{aligned}$$

Sesuai dengan filosofi desain Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), disyaratkan dalam SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2 bahwa :

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

Dimana

$\Sigma M_{nc}$  = momen kapasitas kolom

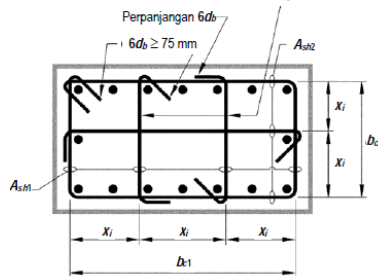
$\Sigma M_{nb}$  = momen kapasitas balok

#### Persyaratan terhadap tulangan transversal

- Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.1 daerah sendi plastis atau sepanjang,  $l_o$  yang diukur dari muka joint tidak boleh kurang dari yang terbesar dari tinggi komponen struktur pada muka joint,  $l_u/6$  dan 450 mm

- b. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.2 Bentuk tulangan transversal bisa berupa sengkang tertutup tunggal dan rangkap. Kemudian menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3, ujung-ujung kolom sepanjang  $l_o$  harus dikekang oleh tulangan transversal ( $A_{sh}$ ) dengan spasi sengkang ( $s_1$ ) diambil yang terkecil dari  $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil kolom, 6 db dan nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tak perlu lebih kecil dari 100mm.

Jarak spasi sengkang pertama ( $s_2$ ) di  $l_o$  dipasang 50 mm

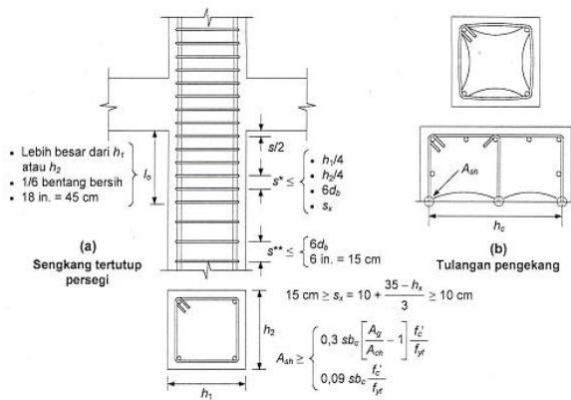


Gambar 3. 7 Contoh tulangan transversal kolom

- c. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4, untuk total luas penulangan hoops persegi ( $A_{sh}$ ) tidak boleh kurang dari nilai terbesar berikut :

- $$A_{sh1} = 0,3 \left( \frac{s \times b_c \times f_c'}{f_{yt}} \right) \times \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$
- $$A_{sh2} = 0,09 \left( \frac{s \times b_c \times f_c'}{f_{yt}} \right)$$

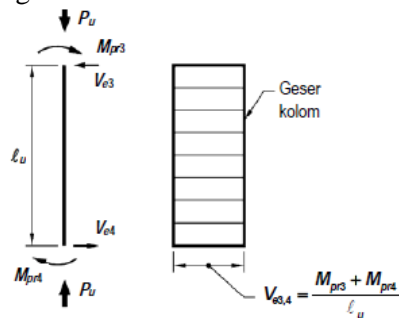
- d. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, jarang spasi sengkang di luar  $l_o$  yaitu ( $s_3$ ) harus diambil yang terkecil dari nilai 6 db dan 150 mm.



Gambar 3. 8 Syarat spasi tulangan transversal

### Kuat Geser kolom

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.6.5.1, gaya geser rencana  $V_e$ , untuk menentukan kebutuhan geser kolom tidak boleh gagal mendahului kekuatan momen kolom dan harus ditentukan dari kuat kedua ujung kolom. Ketentuan ini diilustrasikan dalam gambar berikut :



Gambar 3. 9 Kuat geser kolom

### Panjang penyaluran

Panjang penyaluran disalurkan pada lokasi yang sama menurut SNI 2847-2013 pasal 12.15.1, panjang minimum penyaluran adalah  $1,3l_d$ .

Perhitungan panjang penyaluran tulangan berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 12.2.2

$$l_d = \left[ \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \times \frac{\Psi_t \times \Psi_e \times \Psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b$$

### 3.10.3 Hubungan Balok Kolom

Sesuai dalam ketentuan yang telah diatur oleh SNI bahwa suatu joint telah diatur secara lengkap dalam SNI 2847-2013 pasal 21.7 yaitu mengenai joint rangka momen khusus. Dimana dalam suatu joint telah dijelaskan dalam pasal 21.7.3.2 telah dijelaskan bahwa komponen struktur merangka kedalam semua empat sisi joint bilamana setiap lebar komponen struktur adalah paling sedikit ( $\frac{3}{4}$ ) lebar kolom harus dipasang tulangan transversal sedikitnya setengah dari yang diisyaratkan oleh SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.4(a) dan (b) dan s lebih kecil dari 150 mm.

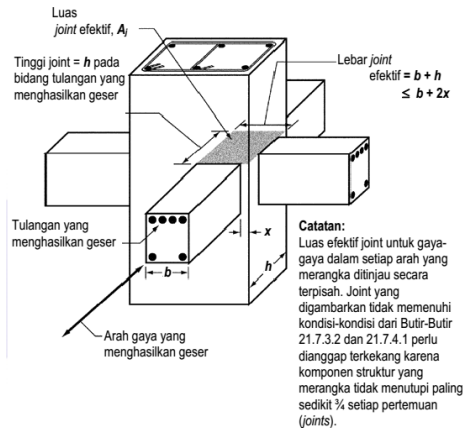
Kekuatan geser nominal ( $V_n$ ) untuk beton berat normal dalam SNI 2847-2013 pasal 21.7.4 telah disebutkan bahwa  $V_n$  joint tidak boleh diambil lebih besar dari nilai yang ditetapkan sebagai berikut :

- Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka,  

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j$$
- Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan,  

$$V_n = 1,2 \times \sqrt{f'_c} \times A_j$$
- Untuk kasus-kasus lainnya,  

$$V_n = 1 \times \sqrt{f'_c} \times A_j$$



Gambar 3. 10 Luas joint efektif HBK

### 3.11 Desain Struktur Utama Pratekan

#### 3.11.1 Desain Penampang Balok Pratekan

Menentukan profil balok penampang pratekan baik sebelum komposit maupun setelah komposit. Mencari lebar efektif terlebih dahulu karena balok pratekan berbentuk T.

#### 3.11.2 Pembebanan

Pembebanan dilakukan dua tahap yaitu :

##### 1. Tahap Awal

Tahap dimana balok pratekan belum diberi gaya pratekan dan beban eksternal, tahap ini terdiri dari :

- Sebelum diberi gaya Pratekan
- Pada saat diberi gaya Pratekan
- Pada saat peralihan gaya Pratekan

##### 2. Tahap Akhir

Tahap akhir merupakan kondisi dimana beban mati tambahan dan beban hidup mulai bekerja pada struktur balok Pratekan. Beban terdiri dari beban sendiri balok, beban pelat dan beban hidup.



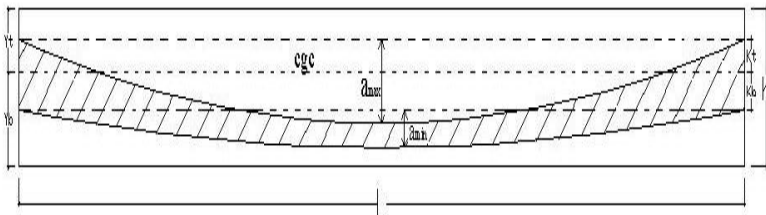
### 3.11.3 Tegangan Ijin Beton

Beton Pratekan diklasifikasikan sebagai kelas U. Tegangan ijin pada beton tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut :

- Tegangan ijin beton sesaat sesudah penyaluran gaya pratekan (saat *jacking*) sesuai SNI 2847-2013 Ps. 18.4.1:
  - Tegangan tekan :  $f_{ci} = 0,60 f_{ci}'$
  - Tegangan tarik :  $f_{ti} = \frac{1}{4} \sqrt{f_{ci}'}$
- Tegangan ijin beton sesaat sesudah kehilangan pratekan (saat beban bekerja) sesuai SNI 2847-2013 Ps. 18.4.2:
  - Tegangan tekan akibat pratekan ditambah beban total:
 
$$f_c = 0,6 f_c'$$
  - Tegangan tarik sesuai SNI 2847-2013 Ps. 18.3.3
 
$$f_c = 0,62 \sqrt{f_c'}$$

### 3.11.4 Daerah limit tendon dan Gaya awal pratekan

Pemilihan letak tendon harus berada pada range daerah limit kabel sesuai dengan analisa rencana, selain itu pemilihan letak tendon juga harus memperhatikan tebal *decking* yang disyaratkan oleh SNI yaitu minimal 40 mm.



Gambar 3. 11 Daerah limit tendon

Berikut batasan daerah limit di lapangan dan tumpuan :

$$a_{\max} - K_t < e_o \text{ lapangan} < K_B + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

$$e_o \text{ tumpuan} < K_t$$

Gaya Pratekan awal direncanakan dengan meperhatikan batasan-batasan tegangan ijin, yang kemudian gaya tersebut akan disalurkan ke penampang. Direncanakan sesuai pemilihan penampang. Setelah itu gaya Pratekan tersebut dikontrol terhadap tegangan ijin beton.

Kontrol tegangan pada saat transfer

- Serat Atas

$$f^t = -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e}{W_t} - \frac{M_D}{W_t}$$

- Serat Bawah

$$f_b = -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e}{W_b} + \frac{M_D}{W_b}$$

Kontrol tegangan akhir pada kondisi beban layan

- Serat Atas

$$f^t = -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{W_t} - \frac{M_T}{W_t}$$

- Serat Bawah

$$f_b = -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_b} + \frac{M_T}{W_b}$$

### 3.11.5 Pemilihan Tendon Baja

Pada pemilihan tendon baja pratekan dipengaruhi oleh gaya pratekan yang ada. Tata letak kabel sangat ditentukan oleh

jenis kabel yang dipilih, agar tidak melebihi batas yang telah ditetapkan sesuai peraturan.

Penggunaan kabel strand untuk tendon prategang diatur dalam SNI 2847-2013 pasal 18.5.1 tentang tegangan ijin untuk baja pratekan dimana tegangan akibat gaya pengangkuran tendon diambil nilai terkecil antara  $0,94f_{py}$ ,  $0,80f_{pu}$  dan  $0,70f_{pu}$ .

### 3.11.6 Kehilangan Pratekan

Berkurangnya gaya Pratekan pada saat tertentu, dikategorikan 2 macam :

#### 1. Kehilangan segera (kehilangan langsung) :

##### a. Akibat pengangkuran

$$\Delta N_C = F_p A = \Delta f_p A \times A_{ps}$$

Dimana :

$F_p A$  = kehilangan gaya Pratekan akibat slip angkur

$\Delta f_{pA}$  = besarnya gaya kehilangan Pratekan akibat angkur

$A_{ps}$  = luas penampang beton

##### b. Akibat perpendekan elastis

$$\Delta N_E = K_{es} \cdot E_s \cdot \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

Dimana :

$K_{es}$  = 1,0 untuk komponen struktur pratarik

$K_{es}$  = 0,5 untuk struktur pasca tarik bila kabel-kabel secara berturut-turut ditarik dengan gaya sama

$E_s$  = Modulus elastisitas baja

$f_{cir}$  = tegangan beton didaerah c.g.s. akibat gaya awal Pratekan

##### c. Akibat gesekan

$$\Delta N_{pf} = F_i \times e^{-(\mu \alpha + KL)}$$

Dimana :

$\Delta N_{pf}$  = gaya Pratekan yang terjadi akibat gesekan

- K = koefisien Wooble  
 L = panjang balok Pratekan  
 $\mu$  = koefisien kelengkungan  
 $\alpha$  = perubahan sudut akibat pengaruh kelengkungan

d. Akibat kekangan kolom

Setelah didapatkan gaya awal pratekan dari pemodelan awal struktur pratekan, maka dilakukan pemodelan kembali untuk mengetahui berkurangnya gaya aksial pada struktur beton pratekan akibat kekangan kolom dengan cara mencari momen pada kedua struktur kolom.

$$\Delta P = \frac{MB-MA}{h}$$

2. Kehilangan tergantung waktu atau tidak langsung :

a. Akibat rangkak

$$CR = Kcr \cdot \frac{Es}{Ec} \cdot (fcir - fcds)$$

Dimana :

Kcr = Koefisien Rangkak 2,0 Untuk Pratarik  
1,6 Untuk pasca Tarik

Ec = Modulus Elastisitas Beton umur beton 28 hari

Es = Modulus Elastisitas Baja Pratekan

$f_{cir}$  = Tegangan beton pada level pusat baja  
segera setelah transfer

$f_{cds}$  = Tegangan beton akibat beban mati ekstra  
setelah diberi Pratekan

b. Akibat susut

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \times Ksh \times Es \times \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

Dimana :

$v/s$  = ratio volume beton Pratekan dibagi luas permukaan beton Pratekan

RH = kelembaban relatif udara sekitar

$E_s$  = modulus elastisitas baja

$K_{sh}$  = koefisien jangka waktu perawatan

- c. Akibat relaksasi baja

$$RE = C \times \{K_{re} - J (SH + CR + ES)\}$$

Dimana :

$K_{re}$  = koefisien relaksasi

$J$  = faktor waktu

$C$  = faktor relaksasi

$SH$  = kehilangan tegangan akibat susut

$CR$  = kehilangan tegangan akibat rangkai

$ES$  = kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis

### 3.11.7 Kontrol Kuat Batas Beton Pratekan

Kuat batas balok Pratekan yang diakibatkan oleh beban luar berfaktor harus memenuhi syarat berikut :

$$1,2 M_{cr} \leq \Phi M_u \leq M_n$$

- a. Perhitungan momen retak ( $M_{cr}$ ) yang terjadi pada balok Pratekan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_{cr} = \left( \frac{F}{A} \cdot W_b \right) + F \cdot e - F_r \cdot w_b$$

Nilai  $f_r$  didapatkan dari persamaan berikut :

$$-\frac{F}{A} - \frac{F_{ec}}{I} + \frac{M_c}{I} = f_r$$

- b. Momen kapasitas penampang didapatkan dengan menghitung beberapa persamaan berikut

$$A_{ps} = b_w \times d \times \rho_p$$

$$T = A_{ps} \times f_{ps}$$

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left( 1 - 0,55 \rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f'_c} \right)$$

$$a = \frac{T}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w}$$

Setelah semua variabel didapatkan, maka momen kapasitas penampang dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$M_n = T \cdot (d - a/2)$$

Dimana :

$M_n$  = momen nominal penampang

$T$  = gaya tarik (tensile) =  $A_{ps} \times f_{ps}$

$A_{ps}$  = luas tulangan Pratekan dalam daerah tarik

$f_{ps}$  = tegangan tulangan Pratekan di saat mencapai kuat nominalnya

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan Pratekan

$a$  = tinggi blok tekan persegi ekuivalen

### 3.11.8 Kontrol Geser

Kontrol geser serta perhitungan tulangan geser didasari pada SNI 2847 2013 pasal 11.3 dimana dapat digunakan dua perumusan, dimana perumusan yang digunakan ialah secara umum dan rinci. Perhitungan geser dilakukan agar struktur mampu memikul gaya geser yang diterima.

Syarat :  $\phi V_c \geq V_u$

$V_c$  diambil terkecil dari

$$V_{ci} = \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{20} \cdot bw \cdot d + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{maks}} \right)$$

$$V_{cw} = 0,3(\sqrt{f'_c} + f_{pc}) \cdot bw \cdot d + V_p$$

### 3.11.9 Kontrol Lendutan

Kontrol lendutan perlu dihitung karena merupakan tanda akan terjadinya kegagalan struktur, lendutan terdiri dari :

1. Lendutan akibat tekanan tendon

$$\Delta_{lpo} = \frac{1}{8} \cdot \frac{F_o \cdot e \cdot l^2}{E_c \cdot I}$$

2. Lendutan akibat momen yang bekerja pada portal

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Dimana :

$F_o$  = gaya Pratekan awal

$E_c$  = modulus elastisitas beton

$I$  = momen inersia penampang

### 3.11.10 Pengangkuran

Pada balok Pratekan Pratekan pasca tarik, kegagalan bisa disebabkan oleh hancurnya bantalan beton pada daerah

tepat dibelakang angkur tendon akibat tekanan yang sangat besar. Kegagalan ini diperhitungkan pada kondisi ekstrim saat transfer, yaitu saat gaya Pratekan maksimum dan kekuatan beton minimum.

Metode perhitungan perencanaan daerah pengangkuran global sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 20.13.5. Metode perhitungan yang dapat digunakan untuk perencanaan daerah pengangkuran global yaitu :

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \cdot \Sigma Pu \cdot \left(1 - \frac{a}{h}\right)$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5 \cdot (h - 2e)$$

Dimana :

$\Sigma Pu$  = Jumlah gaya tendon terfaktor total untuk pengaturan penarikan tendon yang ditinjau

$a$  = Tinggi angkur atau kelompok angkur yang berdekatan pada arah yang ditinjau

$e$  = eksentrisitas angkur atau kelompok angkur yang berdekatan terhadap sumbu berat penampang (selalu diambil sebagai nilai positif)

$h$  = tinggi arah penampang pada arah yang ditinjau

### 3.12 Desain Pondasi Pondasi

Hal-hal yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan pondasi diantaranya adalah jenis tanah, kondisi tanah dan struktur tanah. Hal tersebut sangat berkaitan dengan daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi diatasnya. Pada perencanaan pondasi gedung Apartemen Pavilion Permata menggunakan pondasi tiang pancang yang termasuk jenis pondasi dalam.

Beban struktur atas secara keseluruhan diteruskan ke struktur bawah (Pondasi). Pada perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang kali ini berdasarkan hasil *Standard penetration Test (SPT)* menggunakan metode “LUCIANO DECORT”. Langkah-langkah yang dikerjakan dalam perencanaan struktur tersebut adalah :

1. Menghitung beban total dari struktur atas
2. Mencari daya dukung tanah

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

$Q_L$  = Daya dukung tanah maksimum pada pondasi

$Q_p$  = Resistance ultimit di dasar pondasi

$Q_s$  = Resistance ultimit akibat lekatan lateral

Untuk mencari  $Q_p$  dan  $Q_s$  digunakan persamaan berikut :

- $Q_p = q_p \cdot A_p \cdot \alpha = (N_p \cdot K) \cdot A_p \cdot \alpha$

Dimana :

$N_p$  = Harga rata-rata SPT sekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang. (B = diameter dasar pondasi).

K = koefisien karakteristik tanah

= 12 t/m<sup>2</sup> (Lempung)

= 20 t/m<sup>2</sup> (Lanau Berlempung)

= 25 t/m<sup>2</sup> (Lanau Berpasir)

= 40 t/m<sup>2</sup> (Pasir)

$A_p$  = Luas penampang dasar tiang

$q_p$  = Tegangan diujung tiang

- $Q_s = q_s \cdot A_s \cdot \beta = \left( \frac{N_s}{3} + 1 \right) \cdot A_s \cdot \beta$

Dimana :

$q_s$  = Tegangan akibat lekatan lateral t/m<sup>2</sup>

$N_s$  = harga rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan  $3 \leq N_s \leq 50$

$A_s$  = Luas selimut tiang

$\alpha$  = *Base coefficient*

$\beta$  = *Shaft coefficient*

$$Q_{ijin} = \frac{Q_L}{SF}$$

Dimana :

$Q_{ijin}$  = Daya dukung tanah ijin

SF = Angka keamanan

3. Perencanaan kebutuhan tiang pancang



Mengetahui gaya dalam aksial dari output program ETABS, kombinasi yang digunakan merupakan kombinasi ijin, yaitu :

- D
- D + L
- D + (Lr atau R)
- D + 0,75L + 0,75(Lr atau R)
- D + (0,6W atau 0,7E)
- D + 0,75 (0,6W atau 0,7E) + 0,75L + 0,75 (Lr atau R)
- 0,6D + 0,6W
- 0,6D + 0,7W

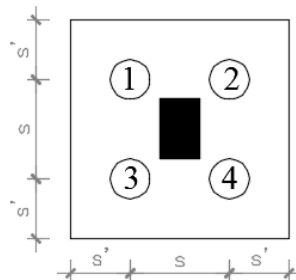
Kemudian dipakai gaya aksial terbesar ( $P_{max}$ ) dari kombinasi - kombinasi pembebanan ijin diatas yang belum ditambahkan dengan berat sendiri poer, maka jumlah tiang pancang ( $n$ ) :

$$n = \frac{\sum P}{Q_{ijin}}$$

4. Perencanaan jarak antar pondasi dan dimensi poer  
Berdasarkan buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 disebutkan bahwa :

- Perhitungan jarak antar pondasi ( $s$ ):  
 $2,5D \leq s \leq 3D$
- Perhitungan jarak pondasi ke tepi poer ( $s'$ ):  
 $1,5D \leq s' \leq 2D$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan dimensi pada poer yaitu panjang dan lebarnya.



Gambar 3. 12 Sketsa jarak antar pondasi dan tepi poer

5. Menentukan daya dukung group pondasi, harus dikorelasikan dengan efisiensi ( $\eta$ ) persamaan berikut :

$$Q_{L(\text{group})} = Q_{L(1 \text{ tiang})} \times n \times \eta$$

Efisiensi daya dukung tiang pancang kelompok

$$\eta = 1 - \frac{D}{\pi \times S \times m} \left[ m(n-1) + (m-1) + \sqrt{2(m-1)(n-1)} \right]$$

Dimana :

D = Diameter sebuah tiang pondasi

S = Jarak as ke as tiang dalam grup

m = Jumlah baris tiang dalam grup

n = Jumlah kolom tiang dalam grup

**Syarat :**

$$\Sigma P < Q_{L(\text{group})}$$

6. Menentukan Beban Maksimum Tiang ( $P_{\max}$ ) Kolom  
Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang.

$$P_i = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_{x0} y_{\max}}{\Sigma y^2} \pm \frac{M_{y0} x_{\max}}{\Sigma x^2}$$

7. Kontrol Kekuatan Tiang Pancang Kolom Terhadap Kekuatan Aksial

Tiang Pancang Berdasarkan spesifikasinya tidak diperkenankan menerima gaya aksial sebagai berikut:

**Syarat 1 :**

$$P_{\max} < P_{\text{ijin produk}}$$

**Syarat 2 :**

$$P_{\max} < \eta \times Q_{\text{ijin}}$$

8. Perencanaan tebal poer  
Reaksi perlawanan tanah ( $q_t$ )

$$q_t = \frac{P_{\text{ijin tanah total}}}{\text{luasan poer}}$$

Menghitung  $d$  (tinggi manfaat yang diperlukan dengan anggapan kerja balok lebar dan kerja balok 2 arah. Ambil nilai  $d$  terbesar di antara keduanya).

Kontrol geser pons poer

Untuk merencanakan tebal poer harus memenuhi syarat yaitu kuat geser nominal beton harus lebih besar dari geser pons yang terjadi

..

#### 9. Perencanaan Penulangan Poer

Desain penulangan lentur poer dianalisis sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang pancang sebesar  $P$  dan berat sendiri poer sebesar  $q$ .

### 3.13 Gambar Kerja

Semua hasil dari analisa perhitungan struktur dituangkan dalam bentuk gambar teknik menggunakan software AutoCAD.

## BAB IV DESAIN DAN ANALISA STRUKTUR

### 4.1 Data Perencanaan

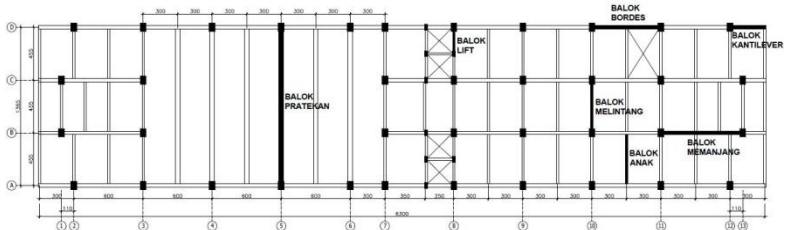
Bahan yang digunakan untuk struktur gedung ini adalah beton bertulang dengan data-data sebagai berikut :

- Tipe bangunan = Apartemen
- Tinggi Bangunan = 43,2 m ( 14 Lantai )
- Luas Bangunan = 63 m x 13,65 m
- Mutu Beton ( $f'_c$ ) kolom = 35 MPa
- Mutu Beton ( $f'_c$ ) balok dan plat = 30 MPa
- Mutu Beton ( $f'_c$ ) balok pratekan = 40 MPa
- Mutu Baja ulir ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Mutu Baja polos pelat ( $f_y$ ) = 280 MPa
- Mutu Baja sengkang ulir ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Mutu Baja sengkang polos ( $f_y$ ) = 240 MPa

### 4.2 Preliminary Design

#### 4.3.1.1 Balok

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi menahan lentur. Sesuai dengan SNI 2847-2013 ps 9.5(a), desain dimensi balok (tinggi minimum balok) adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Denah Preliminary Design Balok

- Dimensi balok induk memanjang (BI) Bentang (L) = 7,1 m.

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L = \frac{710}{16} = 44,375 \text{ cm} \approx 60 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 60 = 40 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok induk memanjang adalah 40/60 cm

- Dimensi balok induk melintang (BI)

Bentang (L) = 4,55 m.

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L = \frac{455}{16} = 28,438 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 50 = 33,333 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok induk melintang adalah 35/50 cm

- Dimensi balok anak (BA)

Bentang (L) = 4,55 m.

$$h_{\min} = \frac{1}{21} L = \frac{455}{21} = 26,67 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 40 = 25 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok anak adalah 25/40 cm

- Dimensi balok bordes (BB)

Bentang (L) = 6 m.

$$h_{\min} = \frac{1}{16} L = \frac{600}{16} = 37,5 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 50 = 35 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok bordes adalah 30/40 cm

- Dimensi balok lift (BL)

Bentang (L) = 2,4 m.

$$h_{\min} = \frac{1}{21} L = \frac{240}{21} = 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 40 = 25 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok lift adalah 25/40 cm

- Dimensi balok kantilever (BK)

Bentang (L) = 3 m.

$$h_{\min} = \frac{1}{8} L = \frac{300}{8} = 37,5 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 40 = 30 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok kantilever adalah 30/40 cm

- Dimensi balok pratekan (BP)

Bentang (L) = 13,65 m

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{1}{16} L \times 80\% \\ &= \frac{710}{16} \times 80\% = 68,25 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} 70 = 40 \text{ cm}$$

Jadi, dimensi balok pratekan adalah 40/70 cm

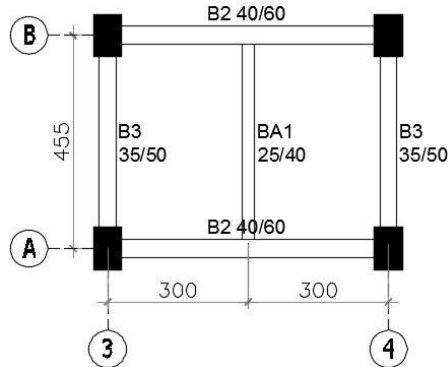
Tabel 4.1 Rekapitulasi dimensi balok

Tipe Balok	Dimensi (cm)	
	b	h
BI 1	40	60
BI 2	35	50
BA	25	40
BB	35	50
BL	25	40
BK	30	40
BP	40	70

#### 4.3.1.2 Pelat

- Desain tebal pelat lantai

Perhitungan pelat lantai pada joint A-B.3-3' sebagai berikut :



Gambar 4. 2 Denah pelat lantai joint A-B.3-3'

$$L_y = 455 \text{ cm}$$

$$L_x = 300 \text{ cm}$$

$$L_n = 455 - \left( \frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right) = 415 \text{ cm}$$

$$S_n = 300 - \left( \frac{35}{2} + \frac{25}{2} \right) = 270 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{415}{270} = 1,537 < 2$$

Maka termasuk dalam pelat 2 arah

Direncanakan :

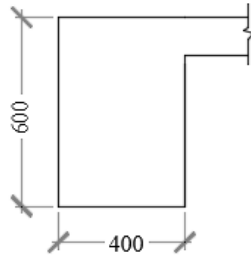
Tebal pelat (t) = 12 cm

$f'_c = 30 \text{ Mpa}$

$f_y = 280 \text{ Mpa}$

o Balok As A Joint 3-3'

Dimensi potongan balok As A joint 3-3' sebagai berikut :



Gambar 4. 3 Balok as A joint 3-3'

Menentukan lebar efektif flens (pasal 13.2.4 SNI 2847-2013)

$$\rightarrow be = bw + 2hw < bw + 8hf$$

- $be = bw + 2hw$   
 $be = 40 + 2(60-12) = 136 \text{ cm}$
- $be = bw + 8hf$   
 $be = 40 + 8(12) = 136 \text{ cm}$

Diambil  $be$  terkecil = 136 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,64$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,64 \frac{40 \times 60^3}{12} = 1182169,95 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = 0,5 \frac{b_p t^3}{12} = 0,5 \frac{455 \times 12^3}{12} = 32760 \text{ cm}^4$$

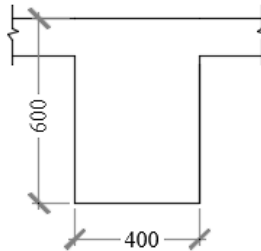


### Rasio Kekakuan Balok Terhadap Pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1182169,95}{32760} = 36,086$$

#### ○ Balok As B Joint 3-3'

Dimensi potongan balok As B joint 3-3' sebagai berikut :



Gambar 4. 4 Balok as B joint 3-3'

Menentukan lebar efektif flens (pasal 13.2.4 SNI 2847-2013)

$$\rightarrow be = bw + 2hw < bw + 8hf$$

- $be = bw + 2hw$   
 $be = 40 + 2(60-12) = 136 \text{ cm}$
- $be = bw + 8hf$   
 $be = 40 + 8(12) = 136 \text{ cm}$

Diambil  $be$  terkecil = 136 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,64$$

### Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,64 \frac{40 \times 60^3}{12} = 1182169,95 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

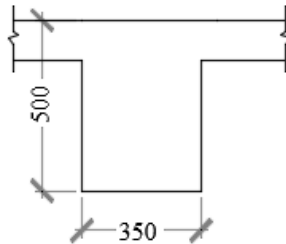
$$I_p = 0,5 \frac{b_p t^3}{12} = 0,5 \frac{(455 + 455) \times 12^3}{12} = 65520 \text{ cm}^4$$

Rasio Kekakuan Balok Terhadap Pelat

$$\alpha_I = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1182169,95}{65520} = 18,043$$

○ Balok As 3 Joint A-B

Dimensi potongan balok As 3 joint A-B sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Balok as 3 joint A-B

Menentukan lebar efektif flens (pasal 13.2.4 SNI 2847-2013)

$$\rightarrow be = bw + 2hw < bw + 8hf$$

- $be = bw + 2hw$   
 $be = 40 + 2(50-12) = 111 \text{ cm}$
- $be = bw + 8hf$   
 $be = 35 + 8(12) = 131 \text{ cm}$

Diambil  $be$  terkecil = 111 cm.

$$k = \frac{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right) \left[ 4 - 6 \left( \frac{t}{h} \right) + 4 \left( \frac{t}{h} \right)^2 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right)^3 \right]}{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \left( \frac{t}{h} \right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1,62$$

Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,62 \frac{35 \times 50^3}{12} = 591964,60 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

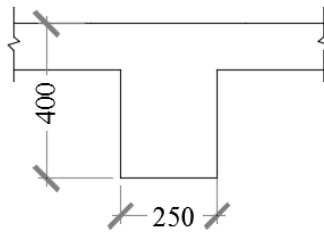
$$I_p = 0,5 \frac{b_p t^3}{12} = 0,5 \frac{(300 + 300) \times 12^3}{12} = 43200 \text{ cm}^4$$

Rasio Kekakuan Balok Terhadap Pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{591964,60}{43200} = 13,703$$

○ Balok As 3' Joint A-B

Dimensi potongan balok as 3' joint A-B sebagai berikut :



Gambar 4. 6 Balok as 3' joint A-B

Menentukan lebar efektif flens (pasal 13.2.4 SNI 2847-2013)

$$\rightarrow be = bw + 2hw < bw + 8hf$$

- $be = bw + 2hw$   
 $be = 25 + 2(40-12) = 81 \text{ cm}$
- $be = bw + 8hf$   
 $be = 25 + 8(12) = 121 \text{ cm}$

Diambil  $be$  terkecil = 81 cm.

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{81}{25} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{12}{40}\right) + 4 \left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{81}{25} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{81}{25} - 1\right) \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 1,65$$

#### Momen Inersia Penampang

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,65 \frac{25 \times 40^3}{12} = 220172,45 \text{ cm}^4$$

#### Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = 0,5 \frac{b_p t^3}{12} = 0,5 \frac{(300 + 300) \times 12^3}{12} = 43200 \text{ cm}^4$$

#### Rasio Kekakuan Balok Terhadap Pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{220172,45}{43200} = 5,097$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai  $\alpha_m$  sebagai berikut :

$$\alpha_{fm} = \frac{1}{n} (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n)$$

$$\alpha_{fm} = \frac{1}{4} (36,086 + 18,043 + 13,703 + 5,097)$$

$$= 18,232$$

Karena  $\alpha_{fm} > 2$  dipakai persamaan (3.8), SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

$$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{4150(0,8 + \frac{280}{1400})}{36 + (9 \times 1,537)} = 83 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$$

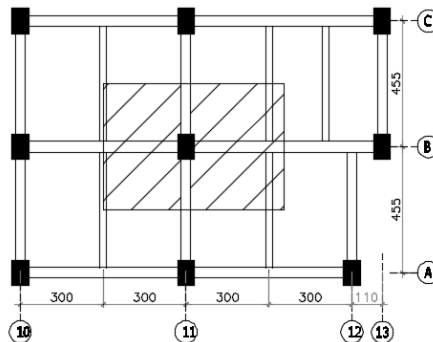
Jadi, nilai  $h$  lebih kecil dari 90 mm, maka digunakan tebal pelat lantai basement s/d atap tipe A adalah 120 mm.

Tabel 4. 2 Rekapitulasi tebal pelat

Lantai	Tebal (mm)
Basement	200
1 s/d 13	120
Atap	120

#### 4.3.1.3 Kolom

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.8.4 kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.



Gambar 4. 7 Denah kolom yang ditinjau

Direncanakan :

Beban hidup lantai	= $192 \text{ kN/m}^2$ dan $479 \text{ kN/m}^2$
Beban hidup atap	= $96 \text{ kN/m}^2$
Beban hujan	= $19,6 \text{ kN/m}^2$
Beban mati tambahan	= sesuai brosur, PPIUG 1983 dan SNI 1727-2013
Beton bertulang	= $2400 \text{ kg/m}^3$
Spesi	= $21 \text{ kg/m}^3$
Keramik	= $22 \text{ kg/m}^3$
Dinding	= $100,04 \text{ kg/m}^3$
Aspal	= $14 \text{ kg/m}^3$
Plafond	= $6,4 \text{ kg/m}^3$
Penggantung	= $8,7 \text{ kg/m}^3$
Pemipaan Air	= $25 \text{ kg/m}^3$
AC & Instalasi Listrik	= $40 \text{ kg/m}^3$

### Lantai Atap

Tabel 4. 3 Pembebanan lantai atap

Beban Mati	BJ ( $\text{kg/m}^3$ ) / ( $\text{kg/m}^2$ )	Luas ( $\text{m}^2$ )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Balok Induk mem	2400	0,24	6,55	3772,80
Balok Induk mel	2400	0,18	4,55	1911,00
Balok Anak mel	2400	0,10	6,83	1638,00
Pelat	2400	29,80	0,12	8583,12
Aspal	14	29,80		417,24
Pemipaan air	25	29,80		745,06
AC & Instalasi	40	29,80		1192,10
Plafon	6,40	29,80		190,74
Penggantung	8,70	29,80		259,28
Kolom asumsi	2400	0,40	4,20	4032,00
Total Beban Mati				22741,34
Beban Hidup	BJ ( $\text{kg/m}^3$ ) / ( $\text{kg/m}^2$ )	Luas ( $\text{m}^2$ )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Lantai Atap	96,00	29,80		2861,04
Hujan	19,60	29,80		584,13
Total Beban Hidup				2861,04

### Lantai 5-13

Tabel 4. 4 Pembebanan lantai 5-13

Beban Mati	BJ (kg/m <sup>3</sup> ) / (kg/m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Balok Induk mem	2400	0,24	6,55	3772,80
Balok Induk mel	2400	0,18	4,55	1911,00
Balok Anak mem	2400	0,10	6,55	1572,00
Balok Anak mel	2400	0,10	2,28	546,00
Pelat	2400	29,80	0,12	8583,12
Dinding	100,04	44,21		4423,03
Spesi 2 cm	21	29,80	2,00	1251,71
Keramik	22	29,80		655,66
Pemipaan air	25	29,80		745,06
AC & Instalasi	40	29,80		1192,10
Plafon	6,40	29,80		190,74
Penggantung	8,70	29,80		259,28
Kolom asumsi	2400	0,40	3,00	2880,00
Total Beban Mati				27982,49
Beban Hidup	BJ (kg/m <sup>3</sup> ) / (kg/m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Koridor	192,00	14,90		2861,04
Ruang Pribadi	192,00	14,90		2861,04
Total Beban Hidup				5722,08

**Lantai 2-4**

Tabel 4. 5 Pembebanan lantai 2-4

Beban Mati	BJ (kg/m <sup>3</sup> ) / (kg/m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Balok Induk mem	2400	0,24	6,55	3772,80
Balok Induk mel	2400	0,18	4,55	1911,00
Balok Anak mem	2400	0,10	6,55	1572,00
Balok Anak mel	2400	0,10	2,28	546,00
Pelat	2400	29,80	0,12	8583,12
Dinding	100,04	44,21		4423,03
Spesi 2 cm	21	29,80	2,00	1251,71
Keramik	22	29,80		655,66
Pemipaan air	25	29,80		745,06
AC & Instalasi	40	29,80		1192,10
Plafon	6,40	29,80		190,74
Penggantung	8,70	29,80		259,28
Kolom asumsi	2400	0,54	3,00	3888,00
Total Beban Mati				28990,49
Beban Hidup	BJ (kg/m <sup>3</sup> ) / (kg/m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Koridor	192,00	14,90		2861,04
Ruang Pribadi	192,00	14,90		2861,04
Total Beban Hidup				5722,08

## Lantai 1

Tabel 4. 6 Pembebanan lantai 1

Beban Mati	BJ (kg/m <sup>3</sup> ) / (kg/m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Balok Induk mem	2400	0,24	6,55	3772,80
Balok Induk mel	2400	0,18	4,55	1911,00
Balok Anak mel	2400	0,10	6,83	1638,00
Pelat	2400	29,80	0,12	8583,12
Dinding	100,04	4,55		455,18
Spesi 2 cm	21	29,80	2,00	1251,71
Keramik	22	29,80		655,66
Pemipaan air	25	29,80		745,06
AC & Instalasi	40	29,80		1192,10
Plafon	6,40	29,80		190,74
Penggantung	8,70	29,80		259,28
Kolom asumsi	2400	0,54	3,00	3888,00
Total Beban Mati				24542,64
Beban Hidup	BJ (kg/m <sup>3</sup> ) / (kg/m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Ruang Publik	479,00	29,80		14275,40
Total Beban Hidup				14275,40

## Lantai Basement

Tabel 4. 7 Pembebanan lantai basement

Beban Mati	BJ (kg/m <sup>3</sup> ) / (kg/m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Sloof mem	2400	0,24	6,55	3772,80
Sloof mel	2400	0,18	4,55	1911,00
Sloof Anak mel	2400	0,10	6,83	1638,00
Pelat	2400	29,80	0,20	14305,20
Dinding	100,04	6,55		655,26
Spesi 2 cm	21	29,80	2,00	1251,71
Keramik	22	29,80		655,66
Pemipaan air	25	29,80		745,06
Total Beban Mati				24934,69
Beban Hidup	BJ (kg/m <sup>3</sup> ) / (kg/m <sup>2</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )	Bentang / Tebal (m)	Beban (kg)
Koridor	192,00	14,90		2861,04
Ruang Pribadi	192,00	14,90		2861,04
Total Beban Hidup				5722,08

- Kombinasi beban

$$Q_u = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$$



$$= 1,2(386097,88) + 1,6(82940,36) + 0,5(2861,04)$$

$$= 597452,55 \text{ kg}$$

Mutu beton = 35 MPa

$$\text{Dimensi : } A = \frac{3 \times P}{f'_c} = \frac{3 \times 597452,55}{350} = 5121,02 \text{ cm}^2$$

Jadi, dipakai dimensi kolom 60 x 90 cm<sup>2</sup>.

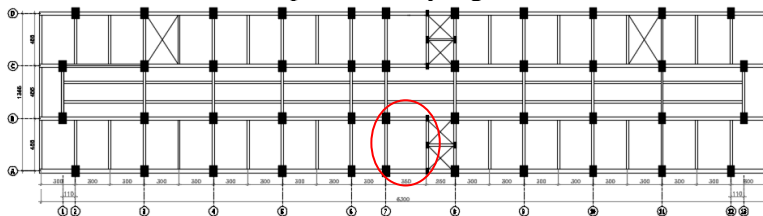
Tabel 4. 8 Rekapitulasi dimensi kolom

Tipe Balok	Dimensi (cm)	
	b	h
K1	60	90
K2	50	80
K3	50	70

### 4.3 Desain Struktur Sekunder

#### 4.3.1 Desain Struktur Pelat Lantai

Berikut ini letak pelat lantai yang akan di desain :



Gambar 4. 8 Denah pelat lantai tipe P1 yang ditinjau

##### 4.3.1.1 Data Perencanaan Pelat

Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Tipe Pelat = P1
- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 MPa
- Tebal Pelat ( $t$ ) = 120 mm
- Selimut Beton = 20 mm
- Kuat Tarik ( $f_y$ ) = 280 Mpa

- Diameter tul. Lentur = 13 mm

#### 4.3.1.2 Pembebanan

Pelat direncanakan menerima beban mati dan beban hidup dengan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 9.2.(1), yaitu sebesar :

##### 1. Beban Mati ( $D$ )

Berat sendiri pelat	=	0,12	x	2400	=	288	kg/m <sup>2</sup>
Spesi t=2cm	=	2	x	21	=	42	kg/m <sup>2</sup>
Keramik	=			22	=	22	kg/m <sup>2</sup>
Plafond	=			6,4	=	6,4	kg/m <sup>2</sup>
Penggantung	=			8,7	=	8,7	kg/m <sup>2</sup>
Pemipaan Air	=			25	=	25	kg/m <sup>2</sup>
AC & Instalasi listrik	=			40	=	40	kg/m <sup>2</sup>
					=	432,1	kg/m <sup>2</sup>

##### 2. Beban Hidup ( $L$ ) Pelat Lantai 1 s/d 11 Tipe P1

Beban hidup ( $Lo$ ) = 479 kg/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2013 Tabel 4-1)

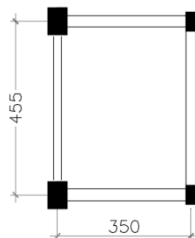
##### 3. Kombinasi Pembebanan

$$\begin{aligned}
 Qu &= 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \\
 &= 1,2 \times 432,1 + 1,6 \times 479 \\
 &= 1284,92 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan  $Qu = 1284,92 \text{ kg/m}^2$

#### 4.3.1.3 Perhitungan Penulangan Lentur

Dimensi pelat lantai tipe P1 seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. 9 Dimensi pelat lantai tipe P1

Perhitungan nilai gaya dalam pada pelat adalah sebagai berikut :

$$L_y/L_x = 4,55 / 3,5 = 1,3 < 2 \text{ (Plat 2 arah)}$$

$$\begin{aligned} \circ M_{tx} &= 0,001 \times Qu \times L_x^2 \times X_{tx} \\ &= 0,001 \times 1284,92 \times 3^2 \times 36 \\ &= 416,31 \text{ kgm} \\ \circ M_{ty} &= 0,001 \times Qu \times L_x^2 \times X_{ty} \\ &= 0,001 \times 1284,92 \times 3^2 \times 17 \\ &= 196,59 \text{ kgm} \\ \circ M_{lx} &= 0,001 \times Qu \times L_x^2 \times X_{lx} \\ &= 0,001 \times 1284,92 \times 3^2 \times 76 \\ &= 878,88 \text{ kgm} \\ \circ M_{ly} &= 0,001 \times Qu \times L_x^2 \times X_{ly} \\ &= 0,001 \times 1284,92 \times 3^2 \times 57 \\ &= 659,16 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ plat} - \text{deking} - \frac{1}{2} \emptyset \\ &= 120 - 20 - (0,5 \times 13) \\ &= 93,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= t \text{ plat} - \text{deking} - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \\ &= 120 - 20 - 13 - (0,5 \times 13) \\ &= 80,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1)}$$

sehingga nilai  $\rho$  perlu dapat dihitung sebagai berikut :

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times \frac{(30 - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,836$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{280} \times \frac{600}{(600 + 280)} = 0,0519$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0519 = 0,0389$$

#### Penulangan Arah x (tumpuan)

$$Mu = 878,885 \text{ kgm} = 8788850 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{280}{0,85 \times 30} = 10,98$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{8788850}{0,9 \times 1000 \times 93,5^2} = 0,529 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{10,98} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10,98 \times 0,529}{280}} \right) \\ &= 0,0019 < \rho_{\min} \dots \dots (\text{digunakan } \rho_{\text{perlu}}) \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0019 \times 1000 \times 93,5 \\ &= 178,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jarak pasang antar tulangan :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{tul}}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,73 \text{ mm}^2 \\ \text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tul}}}}} = \frac{1000}{\frac{178,56}{132,73}} = 743,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan D 13-200 mm

$$\begin{aligned}
 A_{spakai} &= \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 663,66 \text{ mm}^2 > A_{perlu} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq 2h \\
 200 &\leq 2 \times 120 = 240 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan D 13 – 200

Penulangan Arah x (lapangan)

Direncanakan menggunakan D 13 – 200

Penulangan Arah y (tumpuan)

Direncanakan menggunakan D 13 – 200

Penulangan Arah y (lapangan)

Direncanakan menggunakan D 13 – 200

Penulangan susut

$$\rho_{perlu} = 0,002$$

$$A_{s_{perlu}} = 0,002 \times 1000 \times 80,5 = 161 \text{ mm}^2$$

Menentukan jarak pasang antar tulangan :

$$A_{s_{tul}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,26 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak} &= \frac{1000}{\frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{tul}}}} = \frac{1000}{\frac{161}{50,26}} = 312,21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan D 8-200 mm

$$\begin{aligned}
 A_{spakai} &= \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\
 &= 251,33 \text{ mm}^2 > A_{perlu} \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan Ø 8 – 200

#### 4.3.1.4 Kontrol Lendutan

Kontrol lendutan ini dimaksudkan agar perencana mengetahui perilaku dari plat lantai ini.

$$M_{tx} = 0,001 \times q \times Lx^2 \times Xx$$

$$M_{tx} = (M_{Ll}) = 0,001 \times 479 \times 3^2 \times 76 = 327,636 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = (M_{Dl}) = 0,001 \times 432,1 \times 3^2 \times 76 = 295,556 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} Ma &= M_{txHidup} + M_{txMati} \\ &= 327,636 + 295,556 \\ &= 623,192 \text{ kgm} = 6231924 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$I_g = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{1000 \times 120^3}{12} = 14,4 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'c} = 0,62 \sqrt{30} = 3,39 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \frac{2 f_r I_g}{h} = \frac{2 \times 3,39 \times 14,4 \times 10^7}{120} = 8150111,66 \text{ Nmm}$$

Karena  $Ma < M_{cr}$ , maka inersia yang digunakan adalah inersia penampang kotor ( $I_g$ ).

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} (\Delta i)_{DL+LL} &= \frac{5m_a l^2}{48 E_c I_g} \\ &= \frac{5 \times 6231924 \times 3000^2}{48 \times 2574296 \times 14,4 \times 10^7} = 1,576 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\Delta i)_{DL} &= \frac{M_{DL}}{M_{DL} + M_{LL}} (\Delta i)_{DL+LL} \\ &= \frac{295,556}{295,556 + 327,636} \times 1,576 = 0,747 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\Delta i)_{LL} &= \frac{M_{LL}}{M_{DL} + M_{LL}} (\Delta i)_{DL+LL} \\ &= \frac{327,636}{327,636 + 295,556} \times 1,576 = 0,829 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 untuk durasi lebih dari 5 tahun digunakan  $\xi = 2$

$$\lambda = 0,6 \quad \xi = 0,6 \times 2 = 1,2$$

Lendutan yang terjadi :

$$\begin{aligned}\Delta_{LT} &= (\Delta i)_{LL} + \lambda [(\Delta i)_{DL} + 0,2(\Delta i)_{LL}] \\ &= 0,829 + 1,2 (0,747 + 0,2 \times 0,829) \\ &= 1,924 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 batasan lendutan untuk plat lantai

$$\text{adalah } \frac{l}{240}.$$

$$\frac{l}{240} = \frac{3000}{240} = 12,5 \text{ mm}$$

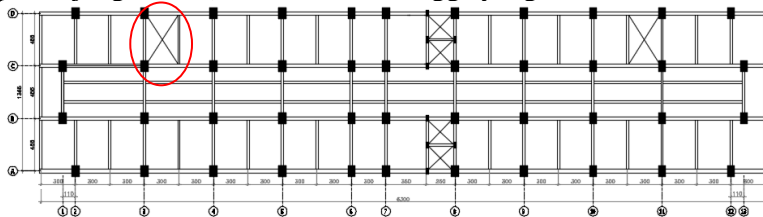
$$\rightarrow \Delta_{LT} \leq \frac{l}{240} \text{ (Memenuhi)}$$

Tabel 4. 9 Rekapitulasi penulangan pelat lantai

Tipe Pelat	Penulangan Tump.		Penulangan Lap		Penulangan Susut	
	X	Y	X	Y	X	Y
P1	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200	Ø8-200

### 4.3.2 Desain Struktur Tangga

Struktur tangga dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Berikut letak tangga yang akan di desain :



Gambar 4. 10 Denah tangga yang ditinjau

#### 4.3.2.1 Data Perencanaan

Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Tinggi antar lantai = 3 m

- Tinggi bordes = 1,5 m
- Lebar bordes = 1,4 m
- Lebar tangga = 1,45 m
- Panjang bordes = 3 m
- Panjang tangga = 3 m
- Lebar injakan( $i$ ) = 0,3 m
- Tanjakan ( $t$ ) = 0,15 m
- Tebal pelat tangga = 0,15 m
- Tebal pelat bordes = 0,15 m
- Jumlah tanjakan, injakan =
  - $n.t = \frac{1,5}{0,15} = 10$  buah
  - $n.i = n.t - 1 = 10 - 1 = 9$  buah

Syarat desain tangga :

- a)  $60 \leq 2t + i \leq 65$   
 $60 \leq 2 \times 15 + 30 \leq 65$   
 $60 \leq 60 \leq 65$  (memenuhi)
- b)  $\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{1,5}{3} \right) = 26,56^\circ$   
 $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$  (memenuhi)

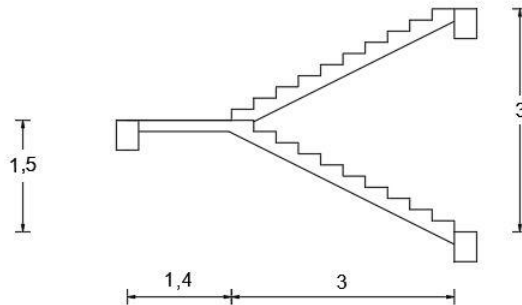
Tebal Pelat Rata-rata :

$$T = \left( \frac{i}{2} \right) \times \sin \alpha = \left( \frac{0,3}{2} \right) \times \sin 26,56 = 0,067 \text{ m}$$

$$T = 0,15 + 0,067 = 0,217 \text{ m}$$

Desain tangga lantai dasar dapat dilihat pada Gambar 4.





Gambar 4. 11 Desain dimensi tangga

#### 4.3.2.2 Pembebanan Pelat Tangga dan Bordes

- Pembebanan Tangga

1. Beban Mati ( $DL$ )

Berat sendiri	=	$\frac{0,217 \times 2400}{\cos 26,56}$	=	582,49	kg/m <sup>2</sup>
					kg/m <sup>2</sup>
Railing	=	20	=	20	kg/m <sup>2</sup>
Keramik	=	22	=	22	kg/m <sup>2</sup>
Spesi	=	42	=	42	kg/m <sup>2</sup>
			=	<u>666,49</u>	kg/m <sup>2</sup>

2. Beban hidup ( $L_o$ ) = 479 kg/m<sup>2</sup>

Jadi beban ultimate ( $q_{ult}$ )

$$\begin{aligned}
 &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\
 &= 1,2 (666,49) + 1,6 (479) \\
 &= 1566,19 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

- Pembebanan Bordes

1. Beban Mati ( $DL$ )

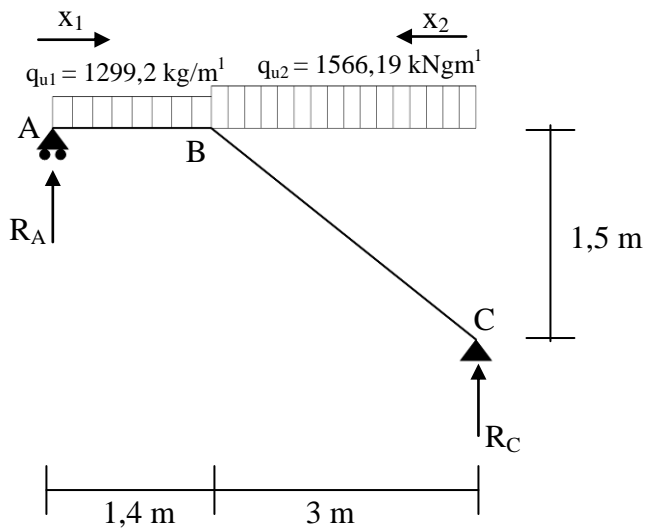
Berat sendiri	=	$0,15 \times 2400$	=	360	kg/m <sup>2</sup>
Railing	=	20	=	20	kg/m <sup>2</sup>
Tegel	=	22	=	22	kg/m <sup>2</sup>
Spesi	=	42	=	42	kg/m <sup>2</sup>
			=	<u>444</u>	kg/m <sup>2</sup>

2. Beban hidup ( $L_o$ ) =  $479 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned}\text{Jadi beban ultimate } (q_{ult}) &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 (444) + 1,6 (479) \\ &= 1299,2 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

#### 4.3.2.3 Analisis Struktur

Pada proses Analisis struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tertentu dengan perletakan berupa sendi-rol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4..



Gambar 4. 12 Pembebanan struktur tangga

#### Analisis Gaya Dalam Tangga

- Reaksi Perletakan

$$\sum MA = 0$$

$$-R_C \times 4,4 + \left[ 1566,19 \times 3 \left( \frac{3}{2} + 1,4 \right) \right] + 1299,2 \times \frac{1,4^2}{2} = 0$$

$$R_C = \frac{13625,85 + 1273,22}{4,4} = 3386,15 \text{ kgm } (\uparrow)$$

$$\sum Mc = 0$$

$$R_A \times 4,4 - \left[ 1566,19 \times 3 \left( \frac{3}{2} \right) \right] - 1299,2 \times 1,4 \left( \frac{1,4}{2} + 3 \right) = 0$$

$$R_A = \frac{7047,85 + 6729,87}{4,4} = 3131,29 \text{ kgm } (\uparrow)$$

$$\sum V = 0$$

$$3131,30 + 3386,15 - (1566,19 \times 3) - (1299,2 \times 1,4) = 0$$

- Perhitungan Gaya Lintang

#### Potongan X1

$$D_{X1} = R_A - q_1 \times X_1 = 3131,29 - 1299,2 \times X_1$$

$$\therefore X_1 = 0 \text{ m} \rightarrow D_A = 3131,29 \text{ kg}$$

$$\therefore X_1 = 1,4 \text{ m} \rightarrow D_B = 1312,42 \text{ kg}$$

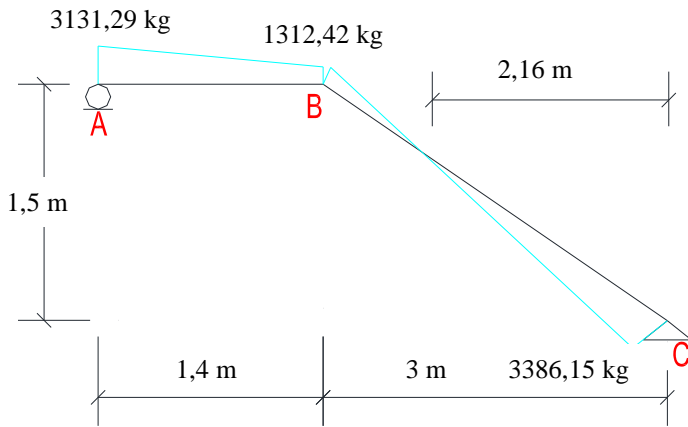
#### Potongan X2

$$D_{X1} = -R_C + q_2 \times X_2 = -3386,15 + 1566,19 \times X_2$$

$$\therefore X_2 = 0 \text{ m} \rightarrow D_C = -3386,15 \text{ kg}$$

$$\therefore X_2 = 3 \text{ m} \rightarrow D_B = 1312,42 \text{ kg}$$

Gambar gaya lintang pada struktur tangga ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 4. 13 Gaya lintang pada tangga dan bordes

- Perhitungan Momen

Potongan X1

$$\begin{aligned}
 M_{X1} &= R_A \times X_1 - \left( \frac{q_1 X_1^2}{2} \right) \\
 &= 3131,29 \times X_1 - \left( \frac{1299,2 \times X_1^2}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$\therefore X_1 = 0 \text{ m} \quad \rightarrow M_A = 0 \text{ kgm}$$

$$\therefore X_1 = 1,4 \text{ m} \quad \rightarrow M_B = 3110,60 \text{ kgm}$$

Potongan X2

$$\begin{aligned}
 M_{X2} &= R_C \times X_2 - \left( \frac{q_2 X_2^2}{2} \right) \\
 &= 3386,15 \times X_1 - \left( \frac{1566,19 \times X_1^2}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$\therefore X_2 = 0 \text{ m} \quad \rightarrow M_C = 0 \text{ kgm}$$

$$\therefore X_2 = 3 \text{ m} \quad \rightarrow M_B = 3110,60 \text{ kgm}$$

- Momen Maximum pada Tangga

$$-R_C + (q_2 X_2) = 0$$

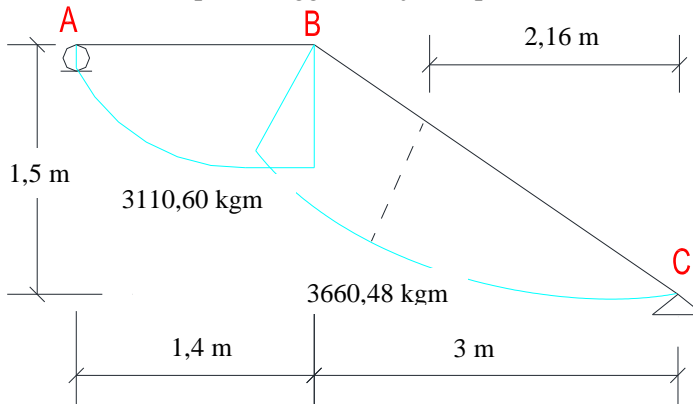
$$D_{x2} = 0 \rightarrow -3386,15 + (1566,19 \times X_2) = 0$$

$$X_2 = \frac{3386,15}{1566,19} = 2,16 \text{ m}$$

$$M_{\text{MAX}} = R_C \times X_2 - \left( \frac{q_2 X_2^2}{2} \right)$$

$$M_{\text{MAX}} = 3386,15 \times 2,16 - \left( \frac{1566,19 \times 2,16^2}{2} \right) = 3660,48 \text{ kgm}$$

Gambar momen pada tangga ditunjukkan pada Gambar 4.25,



Gambar 4. 14 Gaya momen pada tangga dan bordes

#### 4.3.2.4 Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data Desain :

- Mutu beton ( $f'c$ ) = 30 Mpa
- Tebal Pelat ( $t$ ) = 150 mm
- Selimut Beton = 20 mm
- Diameter Tul. Lentur = 16 mm

- Kuat Tarik( $f_y$ ) = 280 MPa
- $M_u = 3660,48 \text{ kgm} = 36604849,42 \text{ Nmm}$
- $dx = t \text{ plat} - \text{deking} - \frac{1}{2} D$   
 $= 150 - 20 - (0,5 \times 16)$   
 $= 122 \text{ mm}$

Sehingga nilai  $\rho$  perlu dapat dihitung sebagai berikut :

$$\rho_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1)}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times \frac{(30 - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 280)} = 0,0519 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0519 = 0,0389$$

Direncanakan menggunakan tulangan D 16

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{280}{0,85 \times 30} = 10,98$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{36604849,42}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 2,73 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{10,98} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10,98 \times 2,73}{280}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0103 > \rho_{\min} \dots \dots (\text{digunakan } \rho_{\text{perlu}})$$

Sehingga didapatkan,

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0103 \times 1000 \times 122 \\ &= 1262,345 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jarak pasang antar tulangan :

$$A_{s_{\text{tul}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = \frac{1000}{\frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tul}}}}} = \frac{1000}{\frac{1262,345}{201,06}} = 159,277 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan,

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{1000}{150} \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1339,733 \text{ mm}^2 .> A_{s_{\text{perlu}}} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

○ Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 2h \\ 200 &\leq 2 \times 150 = 300 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan D 16-150 mm

### Penulangan bagi

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{tulangan bagi}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 122 \\ &= 244 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jarak pasang antar tulangan :

$$A_{s_{tul}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,26 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = \frac{1000}{\frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{tul}}}} = \frac{1000}{\frac{244}{50,26}} = 206,007 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan,

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan Ø 8 – 200

#### 4.3.2.5 Perhitungan Penulangan Pelat Bordes

Data Desain :

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 Mpa
- Tebal Pelat ( $t$ ) = 150 mm
- Selimut Beton = 20 mm
- Diameter Tu<sub>s</sub>, Lentur = 16 mm
- Kuat Tarik ( $f_y$ ) = 280 MPa
- $M_u = 3110,60 \text{ kgm}$  = 31106021,14 Nmm

$$\begin{aligned} \circ \quad dx &= t \text{ plat} - \text{deking} - \frac{1}{2} D \\ &= 150 - 20 - (0,5 \times 16) \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $\rho$  perlu dapat dihitung sebagai berikut :

$$\rho_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1)}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 28)}{7}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times \frac{(30 - 28)}{7}$$



$$\beta = 0,836$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 280)} = 0,0519\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0519 = 0,0389$$

Direncanakan menggunakan tulangan D 16

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{280}{0,85 \times 30} = 10,98$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{31106021,4}{0,9 \times 1000 \times 122^2} = 2,32 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{10,98} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10,98 \times 2,32}{280}} \right) \\ &= 0,0087 > \rho_{\text{min}} \dots \dots \dots (\text{digunakan } \rho_{\text{perlu}})\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0087 \times 1000 \times 122 \\ &= 1062,586 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menentukan jarak pasang antar tulangan :

$$A_{s_{\text{tul}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = \frac{1000}{\frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tul}}}}} = \frac{1000}{\frac{1062,586}{201,06}} = 283,68 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{1000}{150} \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1339,733 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

- Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 2h \\ 250 &\leq 2 \times 150 = 300 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi dipasang tulangan D 16-150 mm

Penulangan bagi

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{tulangan bagi}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 122 \\ &= 244 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan jarak pasang antar tulangan :

$$A_{s_{\text{tul}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,26 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = \frac{1000}{\frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tul}}}}} = \frac{1000}{\frac{244}{50,26}} = 206,006 \text{ mm}$$

Jadi dipasang tulangan Ø 8-200 mm

Sehingga didapatkan,

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{1000}{200} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \\ &= 251,2 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

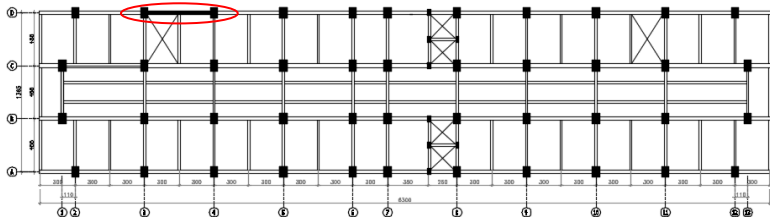
Jadi, dipasang tulangan  $\emptyset 8 - 200$

Tabel 4. 10 Rekapitulasi penulangan pelat tangga & bordes

Jenis Pelat	Penulangan Lentur	Penulangan Susut
Tangga	D16-150	$\emptyset 8-200$
Bordes	D16-150	$\emptyset 8-200$

### 4.3.3 Desain Struktur Balok Bordes

Berikut letak balok bordes yang akan di desain :



Gambar 4. 15 Denah balok bordes yang ditinjau

#### 4.3.3.1 Data Perencanaan

Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Dimensi Balok Bordes = 350/500 mm
- Mutu Beton ( $f'c$ ) = 30 Mpa
- Selimut Beton = 40 mm
- Diameter Tul. Lentur = 16 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Diameter Tul. Geser = 10 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 240 MPa

#### 4.3.3.2 Pembebanan

Berdasarkan analisis gaya dalam pada tangga didapat reaksi di titik C sebesar :

$$R_c = \frac{31,31 \text{ kN}}{3 \text{ m}} = 10,44 \text{ kN/m}$$

#### Beban mati

$$\begin{aligned} \text{Berat Sendiri balok} &= 0,35 \times 0,5 \times 2400 \\ &= 420 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dinding} &= 1,5 \times 100,04 \\ &= \underline{150,06 \text{ kg/m}} \\ &= 570,06 \text{ kg/m} = 5,70 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$q_d = 1,2 q_{d1} + R_c = (1,2 \times 5,70) + 10,44 = 17,28 \text{ kN/m}$$

### **4.3.3.3 Perhitungan Penulangan Lentur**

#### Tinggi Manfaat Rencana :

- $d = h - \text{decking} - \text{Sengkang} - (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}})$   
 $= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm})$   
 $= 442 \text{ mm}$
- $d' = \text{decking} + \text{Sengkang} + (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}})$   
 $= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm}) = 58 \text{ mm}$

#### Rasio Tulangan.

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \times (30 - 28)}{7} = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} = 0,0298 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0298 = 0,0224$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

### Perhitungan Tulangan.

Perhitungan momen berdasarkan SNI 2847 2013 pasal 8.3.3 dimana balok bordes diasumsikan momen negatif.

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{11} \times q_d \times l^2 \\ &= \frac{1}{11} \times 17,28 \times 6^2 = 56,55 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{56,55 \times 10^6 \text{ Nmm}}{0,9} = 62830499,83 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{62830499,83}{350 \times (442)^2} = 0,919$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,919}{420}} \right) = 0,0022 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka ;

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\min} = 0,00333$$

$$A_{s_{\text{tarik}}} = \rho \times b \times d = 0,00333 \times 350 \times 442 = 515,67 \text{ mm}^2$$

Direncanakan D16

$$n = \frac{515,67}{0,25 \times \pi \times (16)^2} = 2,56 \approx 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 3 D 16 mm (  $A_{s_{\text{pasang}}} = 603,18 \text{ mm}^2$  )

$$A_{s_{\text{tekan}}} = 0,5 \times A_{s_{\text{tarik}}} = 0,5 \times 515,67 \text{ mm}^2 = 257,83 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 2 D 16 mm (  $A_{s_{\text{pasang}}} = 402,12 \text{ mm}^2$  )

Kontrol jarak tulangan ;

$$s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{senggang}}) - (n \times D_{\text{tul.lentur}})}{n - 1}$$

$$s = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1}$$

$$s = 109 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan tulangan akibat terpasang tulangan tunggal (akibat tulangan tarik) :

$$a = \frac{A_{s\text{pasang}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times bw} = \frac{603,18 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} = 28,38 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 603,18 \times 420 \times \left( 442 - \frac{28,38}{2} \right)$$

$$M_n = 109012842 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$M_{n \text{ kapasitas}} \geq M_{n \text{ yang terjadi}}$$

$$109012842 \text{ Nmm} \geq 62830499,83 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah tumpuan dan lapangan tarik 3 D16 dan tekan 2 D16

#### 4.3.3.4 Perhitungan Penulangan Geser

Direncanakan Tulangan geser 2 kaki  $\phi 10$  ( $A_s = 157,1 \text{ mm}^2$ )

$$V_u = \frac{1}{2} \times q_d \times l$$

$$= \frac{1}{2} \times 17,28 \times 6 = 51,83 \text{ kN} = 51835,16 \text{ N}$$

Sumbangan kekuatan geser beton :

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 442 = 144045,55 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 144045,55 \text{ N} = 108034,17 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 108034,17 \text{ N} = 54017,08 \text{ N}$$

$$V_{s \min} = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 350 \times 442 = 51566,67 \text{ N}$$

$$\phi (V_c + V_{s \min}) = 0,75 \times (144045,55 + 51566,67) = 146709,17 \text{ N}$$

$$\phi \left( V_c + \frac{1}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \right) = 0,75 \times \left( 144045,55 + \frac{1}{3} \times 350 \times 442 \times \sqrt{30} \right) \\ = 31986587 \text{ N}$$

### Cek Kondisi Perencanaan geser

(SNI 2847-2013 Psl 11.1)

1.  $V_u \leq 0,5 \phi V_c$  (tidak perlu tul. geser)  
 $51835,16 \text{ N} \leq 54017,08 \text{ N}$  (OK)
2.  $0,5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$  (perlu tul. geser minimum)  
 $54017,08 \text{ N} < 51835,16 \text{ N} > 108034,17 \text{ N}$
3.  $\phi V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s \min})$  (perlu tul. geser minimum)  
 $108034,17 \text{ N} < 51835,16 \text{ N} < 146709,17 \text{ N}$

Dipasang tulangan sengkang minimum

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \times 3 \times f_y}{b_w} = \frac{157,08 \times 3 \times 240}{350} = 323,14 \text{ mm}$$

Syarat :

$$s_{\max} \leq \frac{d}{2} = \frac{442}{2} = 221 \text{ mm}$$

$$s_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

Maka dipasang sengkang Ø10-200 mm

### Gaya Geser Perlawanan Sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ = \frac{157,08 \times 240 \times 442}{200} = 83315,04 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi V_s &= 0,75 \times 83315,04 = 62486,28 \text{ N} \\ \phi V_s + \phi V_c &= 62486,28 \text{ N} + 29854,3 \text{ N} \\ &= 170520,44 \text{ N} > 51835,16 \text{ N} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

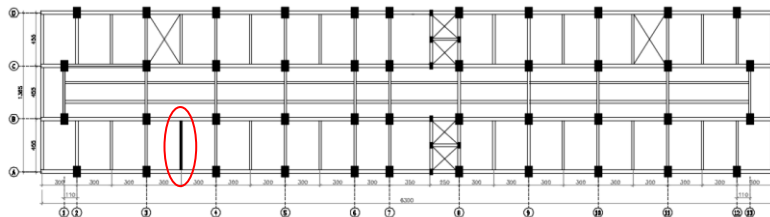
Jadi, dipasang sengkang Ø10 – 200 mm

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Penulangan Balok Bordes

Jenis Balok	Penulangan Lentur		Penulangan Geser
	Tarik	Tekan	
BB	3D16	2D16	Ø10-200

#### 4.3.4 Desain Struktur Balok Anak

Berikut letak balok anak yang akan di desain :



Gambar 4. 16 Denah balok anak yang ditinjau

##### 4.3.5.1 Data Perencanaan

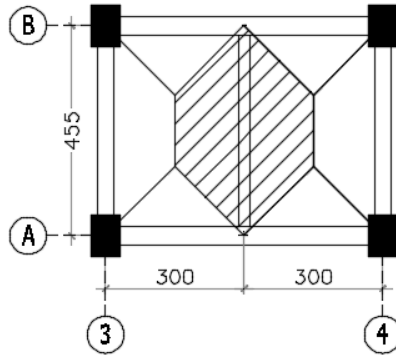
Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Tipe Balok Anak = BA 1
- Dimensi Balok = 250/400 mm
- Bentang Balok = 4550 mm
- Mutu Beton ( $f'_c$ ) = 30 MPa
- Selimut Beton = 40 mm
- Diameter Tul. Lentur = 16 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Diameter Tul. Geser = 10 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 240 MPa



#### 4.3.5.2 Pembebanan

Pada pembebanan balok anak beban didistribusikan berupa beban segitiga pada lajur pendek serta berupa beban trapesium pada lajur yang panjang dan kemudian beban tersebut diekivalensikan menjadi beban merata.



Gambar 4. 17 Tributari pembebanan balok anak

$$l_x = 3 - \frac{1}{2}(0,3 + 0,25) = 2,725m$$

$$l_y = 4,55 - \frac{1}{2}(0,4 + 0,4) = 4,15m$$

$$q_{DL \text{ pelat}} = 432,1 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{LL \text{ pelat}} = 479 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Mati (DL)

Beban merata ekivalen pada pelat yang ditinjau :

$$\begin{aligned} q_{Ekv} &= \frac{1}{6} \times q_{DL \text{ pelat}} \times I_x \times \left\{ 3 - \left( \frac{I_x}{I_y} \right) \right\} \\ &= \frac{1}{6} \times 432,1 \times 2,725 \times \left\{ 3 - \left( \frac{2,725}{4,15} \right) \right\} \\ &= 504,12 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban sendiri balok =  $0,25 \times 0,40 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}$

Total  $q_{DL} = (2 \times 504,12) + 240 = 1248,25 \text{ kg/m}$

- **Beban Mati (DL)**

Beban hidup ekivalen pada pelat yang ditinjau :

$$\begin{aligned} q_{LL} &= \frac{1}{6} \times q_{LL \text{ pelat}} \times I_x \times \left\{ 3 - \left( \frac{I_x}{I_y} \right) \right\} \\ &= \frac{1}{6} \times 479 \times 2,725 \times \left\{ 3 - \left( \frac{2,725}{4,15} \right) \right\} \\ &= 558,84 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Total  $q_{LL} = (2 \times 558,84) = 1117,68 \text{ kg/m}$

Beban merata ultimit balok ( $q_U$ )

$$\begin{aligned} q_U &= (1,2 \times q_{DL}) + (1,6 \times q_{LL}) \\ &= (1,2 \times 1248,25) + (1,6 \times 1117,68) \\ &= 3286,19 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

#### **4.3.5.3 Perhitungan Penulangan Lentur**

Tinggi Manfaat Rencana :

- $d = h - \text{decking} - \text{Sengkang} - (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}})$   
 $= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm})$   
 $= 342 \text{ mm}$
- $d' = \text{decking} + \text{Sengkang} + (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}})$   
 $= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm}) = 58 \text{ mm}$

Rasio Tulangan.

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \times (30 - 28)}{7} = 0,836$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} = 0,0298\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0298 = 0,0224$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

- Perhitungan Daerah Tumpuan.

Perhitungan momen berdasarkan SNI 2847 2013 pasal 8.3.3 dimana balok anak diasumsikan momen negatif pada muka eksterior tumpuan interior pertama lebih dari dua bentang.

$$\begin{aligned}\text{Mu} &= \frac{1}{10} \times q_U \times l^2 \\ &= \frac{1}{10} \times 328619 \times 4,55^2 \\ &= 6903,23 \text{ kgm} = 68032280 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\text{Mn} = \frac{\text{Mu}}{0,9} = \frac{68032280}{0,9} = 75591422,17 \text{ Nmm}$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mn}}{b \times d^2} = \frac{75591422,17}{250 \times 342^2} = 2,58$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times \text{Rn}}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 2,58}{420}} \right) = 0,0065\end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$ , maka ;

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0,0065$$

$$\text{As}_{\text{tarik}} = \rho \times b \times d = 0,0065 \times 250 \times 342 = 556,03 \text{ mm}^2$$

Direncanakan D16 :

$$n = \frac{556,03}{0,25 \times \pi \times (16)^2} = 2,76 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 4 D 16 mm (  $A_{s_{pasang}} = 804,25 \text{ mm}^2$  )

$$A_{s_{tekan}} = 0,5 \times A_{s_{tarik}} = 0,5 \times 556,03 \text{ mm}^2 = 278,02 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 2 D 16 mm (  $A_{s_{pasang}} = 402,12 \text{ mm}^2$  )

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{senggang}}) - (n \times D_{\text{tul.lentur}})}{n - 1}$$

$$s = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4 - 1}$$

$$s = 28,6 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan tulangan akibat terpasang tulangan tunggal (akibat tulangan tarik) :

$$a = \frac{A_{s_{pasang}} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times bw} = \frac{804,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 250} = 52,98 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 804,25 \times 420 \times \left( 342 - \frac{52,98}{2} \right)$$

$$M_n = 106573275 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\begin{array}{lcl} M_{n \text{ kapasitas}} & \geq & M_{n \text{ yang terjadi}} \\ 106573275 \text{ Nmm} & \geq & 75591422,17 \text{ Nmm} \quad (\text{OK}) \end{array}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah tumpuan tarik 4 D16 dan tekan 2 D16

- Perhitungan Daerah Lapangan

Perhitungan momen daerah lapangan sesuai perletakan.

$$\begin{aligned}
 Mu &= \frac{1}{8} \times q_U \times l^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 3286,19 \times 4,55^2 \\
 &= 8504,03 \text{ kgm} = 85040300 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mu}{0,9} = \frac{85040300}{0,9} = 94489277,71 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{94489277,71}{250 \times 342^2} = 3,23$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,47} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 3,23}{420}} \right) = 0,00825
 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$ , maka ;

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0,00825$$

$$As_{\text{tarik}} = \rho \times b \times d = 0,00825 \times 250 \times 342 = 705,8 \text{ mm}^2$$

Direncanakan D16 :

$$n = \frac{705,8}{0,25 \times \pi \times (16)^2} = 3,51 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 4 D 16 mm (  $As_{\text{pasang}} = 804,25 \text{ mm}^2$  )

$$As_{\text{tekan}} = 0,5 \times As_{\text{tarik}} = 0,5 \times 705,8 \text{ mm}^2 = 352,9 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 2 D 16 mm (  $As_{\text{pasang}} = 402,12 \text{ mm}^2$  )

Kontrol jarak tulangan ;

$$s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{sengkang}}) - (n \times D_{\text{tul.lentur}})}{n - 1}$$

$$s = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4 - 1}$$

$$s = 28,6 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan tulangan akibat terpasang tulangan tunggal (akibat tulangan tarik) :

$$a = \frac{A_{spasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_w} = \frac{804,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 250} = 52,98 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 804,25 \times 420 \times \left( 342 - \frac{52,98}{2} \right)$$

$$M_n = 106573275 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\begin{array}{ccc} M_{n \text{ kapasitas}} & \geq & M_{n \text{ yang terjadi}} \\ 106573275 \text{ Nmm} & \geq & 94489277,71 \text{ Nmm} \quad (\text{OK}) \end{array}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah lapangan tarik 4 D16 dan tekan 2 D16

#### 4.3.5.4 Perhitungan Penulangan Geser

Direncanakan Tulangan geser 2 kaki  $\phi$  10 ( $A_s = 157,1 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \times q_u \times l \\ &= \frac{1}{2} \times 328619 \times 4,55 = 7476,075 \text{ kg} = 74760,75 \text{ N} \end{aligned}$$

Sumbangan kekuatan geser beton :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 250 \times 342 = 79611,47 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 79611,47 \text{ N} = 59708,61 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 59708,61 \text{ N} = 29854,3 \text{ N}$$

$$V_{s \min} = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 250 \times 342 = 28500 \text{ N}$$

$$\phi (V_c + V_{s \min}) = 0,75 \times (79611,47 + 28500) = 81083,61 \text{ N}$$

$$\phi \left( V_c + \frac{1}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \right) = 0,75 \times \left( 7961147 + \frac{1}{3} \times 250 \times 342 \times \sqrt{30} \right) \\ = 17561355 N$$

### Cek Kondisi Perencanaan geser

(SNI 2847-2013 Psl 11.1)

1.  $V_u \leq 0,5 \phi V_c$  (tidak perlu tul. geser)  
 $74760,75 N > 29854,3 N$
2.  $0,5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$  (perlu tul. geser minimum)  
 $29854,3 N < 74760,75 N < 59708,61 N$
3.  $\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s \min})$  (perlu tul. geser minimum)  
 $59708,61 N < 74760,75 N < 81083,61 N$  (OK)

$$\begin{aligned} \phi V_s \text{ perlu} &= V_u - \phi V_c \\ &= 74760,75 N - 59708,61 N = 15052,14 N \end{aligned}$$

$$V_s \text{ perlu} = \frac{15052,14}{0,75} = 11289,11 N$$

Dipasang sengkang 2 kaki,

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \times 3 \times f_y}{b_w} = \frac{157,08 \times 3 \times 240}{250} = 452,39 \text{ mm}$$

Syarat :

$$s_{\text{maks}} \leq \frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} \leq 600 \text{ mm}$$

Maka dipasang sengkang Ø10-150 mm

### Gaya Geser Perlawanan Sengkang

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{157,08 \times 240 \times 342}{150} = 85953,98 N \end{aligned}$$

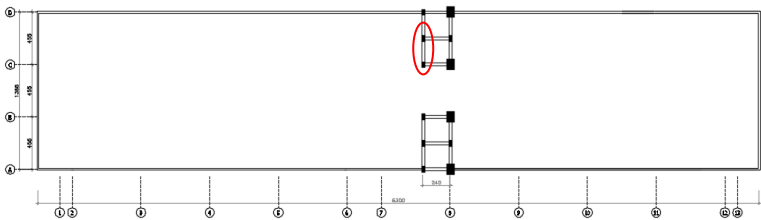
$\phi V_s = 0,75 \times 85953,98 = 64465,48 \text{ N}$   
 $\phi V_s + \phi V_c = 64465,48 \text{ N} + 29854,3 \text{ N}$   
 $= 124174,09 \text{ N} > 74760,75 \text{ N} \quad (\text{OK})$   
Jadi, dipasang sengkang Ø10 – 150 m

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

Jenis Balok	Penulangan Lentur				Penulangan Geser
	Tumpuan		Lapangan		
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	
BA1	4D16	2D16	4D16	2D16	Ø10-150

4.3.5 Desain Struktur Balok Lift

Berikut ini letak balok lift yang akan di desain :



Gambar 4. 18 Denah balok lift yang ditinjau

4.3.5.1 Data Perencanaan

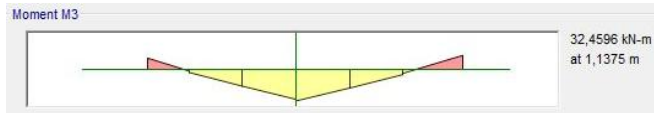
Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Dimensi Balok BL-1 = 250/400 mm
- Bentang Balok = 2275 mm
- Mutu Beton ( $f'c$ ) = 30 Mpa
- Selimut Beton = 40 mm
- Diameter Tul. Lentur = 16 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Diameter Tul. Geser = 10 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 240 MPa



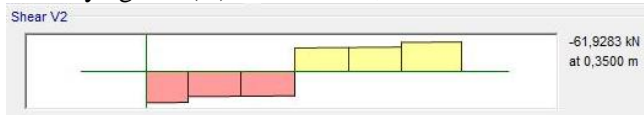
- Data hasil output gaya dalam pada balok kantilever dari program bantu analisis struktur ETABS. Berikut adalah gaya momen dan geser pada kombinasi 1,2D + 1,6L :

- Gaya Momen (M) = 32,459 kNm



Gambar 4. 19 Gaya momen balok lift

- Gaya geser (V) = 61,928 kN

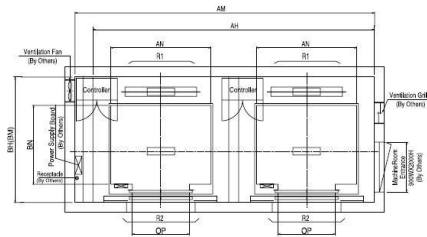


Gambar 4. 20 Gaya geser balok lift

#### 4.3.6.2 Spesifikasi dan Pembebanan

Spesifikasi Lift yang dipakai sebagai berikut :

- Merk = Sigma
- Tipe lift = Passenger
- Kecepatan = 1 m/s
- Kapasitas = 15 orang (1000 kg)
- Lebar pintu = 900 mm
- Dimensi sangkar (car size) = 1600×1400 mm<sup>2</sup>
- Dimensi ruang luncur = 4150×2150 mm<sup>2</sup>
- Dimensi ruang mesin = 4150×2150 mm<sup>2</sup>
- Tinggi ruang mesin = 2300 mm
- Beban reaksi ruang mesin :  
 $R_1 = 5450 \text{ kg}$  (Berat mesin penggerak + beban kereta + perlengkapan)  
 $R_2 = 4300 \text{ kg}$  (Berat bandul pemberat + perlengkapan)



Gambar 4. 21 Penampang lift

#### Pembebanan dalam desain balok lift :

- Beban yang bekerja pada balok

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak, berat kereta luncur, akibat bandul pemberat dan perlengkapan.

- Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pasal 3.3.(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut :

$$\Psi = (1 + k_1 k_2 v) \geq 1,15$$

Dimana :

- $\Psi$  = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.
- $v$  = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

- $k_1$  = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6.
- $k_2$  = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= \Sigma R \times \Psi \\
 &= (5450 + 4300) \cdot (1 + (0,6 \times 1,3 \times 1)) \\
 &= 9750 \times 1,78 \\
 &= 17355 \text{ kg} = 173,55 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.6.3 Perhitungan Penulangan Lentur

Tinggi Manfaat Rencana :

- $d = h - \text{decking} - \text{Sengkang} - (\frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}})$   
 $= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm})$   
 $= 342 \text{ mm}$
- $d' = \text{decking} + \text{Sengkang} + (\frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}})$   
 $= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 16 \text{ mm}) = 58 \text{ mm}$

Rasio Tulangan.

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \times (30 - 28)}{7} = 0,836$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} = 0,0298
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0298 = 0,0224$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

• Perhitungan Tulangan Lentur

$$Mu = 32,459 \text{ kNm} = 32459000 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} = \frac{32459000}{0,9} = 36066222,22 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{36066222,2}{250 \times 342^2} = 1,23$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 1,23}{420}} \right) = 0,0030 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ , maka ;

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\min} = 0,0033$$

$$A_{s\text{tarik}} = \rho \times b \times d = 0,0033 \times 250 \times 342 = 285 \text{ mm}^2$$

Direncanakan D16 :

$$n = \frac{285}{0,25 \times \pi \times (16)^2} = 1,42 \approx 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 2 D 16 mm (  $A_{s\text{pasang}} = 402,12 \text{ mm}^2$  )

$$A_{s\text{tekan}} = 0,5 \times A_{s\text{tarik}} = 0,5 \times 285 \text{ mm}^2 = 142,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 2 D 16 mm (  $A_{s\text{pasang}} = 402,12 \text{ mm}^2$  )

Kontrol jarak tulangan ;

$$s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{sengkang}}) - (n \times D_{\text{tul.lentur}})}{n - 1}$$

$$s = \frac{250 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$s = 118 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan tulangan akibat terpasang tulangan tunggal (akibat tulangan tarik) :

$$a = \frac{A_{spasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_w} = \frac{402,12 \times 420}{0,85 \times 30 \times 250} = 26,49 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 402,12 \times 420 \times \left( 342 - \frac{26,49}{2} \right)$$

$$M_n = 55523854 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} M_{n \text{ kapasitas}} & \geq & M_{n \text{ yang terjadi}} \\ 55523854 \text{ Nmm} & \geq & 36066222,22 \text{ Nmm} \quad (\text{OK}) \end{array}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah tumpuan tarik 2 D16 dan tekan 2 D16

#### 4.3.6.4 Perhitungan Penulangan Geser

Direncanakan Tulangan geser 2 kaki  $\phi$  10 ( $A_s = 157,1 \text{ mm}^2$ )

$$V_u = 61,928 \text{ kN} = 61928 \text{ N}$$

Sumbangan kekuatan geser beton :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 250 \times 342 = 79611,47 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 79611,47 \text{ N} = 59708,61 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 59708,61 \text{ N} = 29854,3 \text{ N}$$

$$V_{s \min} = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 250 \times 342 = 28500 \text{ N}$$

$$\phi (V_c + V_{s \min}) = 0,75 \times (79611,47 + 28500) = 81083,61 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi \left( V_c + \frac{1}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \right) &= 0,75 \times \left( 79611,47 + \frac{1}{3} \times 250 \times 342 \times \sqrt{30} \right) \\ &= 17561355 \text{ N} \end{aligned}$$

### Cek Kondisi Perencanaan geser

(SNI 2847-2013 Psl 11.1)

1.  $V_u \leq 0,5 \phi V_c$  (tidak perlu tul. geser)  
 $61928 \text{ N} > 29854,3 \text{ N}$
2.  $0,5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$  (perlu tul. geser minimum)  
 $29854,3 \text{ N} < 61928 \text{ N} > 59708,61 \text{ N}$
3.  $\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s \text{ min}})$  (perlu tul. geser minimum)  
 $59708,61 \text{ N} < 61928 \text{ N} < 81083,61 \text{ N}$  (OK)

$$\begin{aligned} \phi V_s \text{ perlu} &= V_u - \phi V_c \\ &= 61928 \text{ N} - 59708,61 \text{ N} = 2219,69 \text{ N} \\ V_s \text{ perlu} &= \frac{2219,69}{0,75} = 1664,77 \text{ N} \end{aligned}$$

Dipasang sengkang 2 kaki,

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2 \\ s &= \frac{A_v \times 3 \times f_y}{b_w} = \frac{157,08 \times 3 \times 240}{250} = 452,39 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} s_{\text{maks}} &\leq \frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm} \\ s_{\text{maks}} &\leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang sengkang Ø10-150 mm

### Gaya Geser Perlawanan Sengkang

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{157,08 \times 240 \times 342}{150} = 85953,98 \text{ N} \\ \phi V_s &= 0,75 \times 85953,98 = 64465,48 \text{ N} \\ \phi V_s + \phi V_c &= 64465,48 \text{ N} + 29854,3 \text{ N} \\ &= 124174,09 \text{ N} > 61928 \text{ N} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

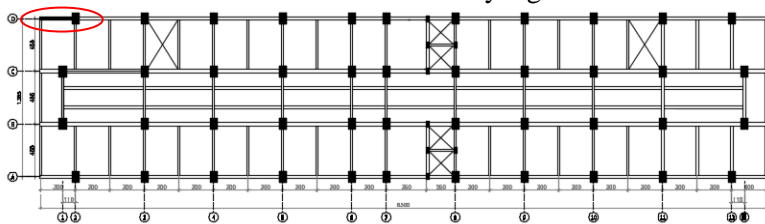
Jadi, dipasang sengkang Ø10 – 150 m

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Penulangan Balok Lift

Jenis Balok	Penulangan Lentur				Penulangan Geser
	Tumpuan		Lapangan		
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	
BL	2D16	2D16	2D16	2D16	Ø10-150

#### 4.3.6 Desain Struktur Balok Kantilever

Berikut ini letak balok kantilever yang akan di desain :

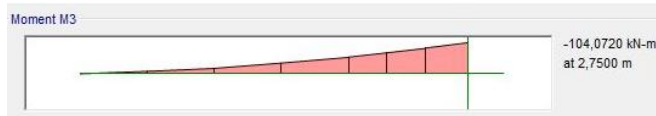


Gambar 4. 22 Denah balok kantilever yang ditinjau

##### 4.3.6.1 Data Perencanaan

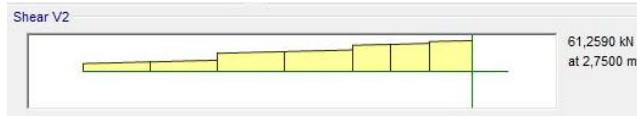
Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Dimensi Balok = 300/400 mm
- Bentang Balok = 3000 mm
- Mutu Beton ( $f'c$ ) = 30 Mpa
- Selimut Beton = 40 mm
- Diameter Tul. Lentur = 19 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Diameter Tul. Geser = 10 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 240 MPa
- Data hasil output gaya dalam pada balok kantilever dari program bantu analisis struktur ETABS. Berikut adalah gaya momen dan geser pada kombinasi 1,2D + 1,6L :
  - Gaya Momen (M) = 104,072 kNm



Gambar 4. 23 Gaya momen balok kantilever

○ Gaya geser (V) = 61,259 kN



Gambar 4. 24 Gaya geser balok kantilever

#### 4.3.6.2 Perhitungan Penulangan Lentur

##### Tinggi Manfaat Rencana :

- $d = h - \text{decking} - \text{Senggang} - (\frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}})$   
 $= 400 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm})$   
 $= 340,5 \text{ mm}$
- $d' = \text{decking} + \text{Senggang} + (\frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}})$   
 $= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm}) = 59,5 \text{ mm}$

##### Rasio Tulangan.

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \times (30 - 28)}{7} = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} = 0,0298 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0298 = 0,0224$$



$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

• Perhitungan Tulangan Lentur.

$$Mu = 104,072 \text{ kNm} = 104072000 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} = \frac{104072000}{0,9} = 115635555,6 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{115635555,6}{300 \times 340,5^2} = 3,32$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 3,32}{420}} \right) = 0,0085 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}}$ , maka ;

$$\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{perlu}} = 0,0085$$

$$As_{\text{tarik}} = \rho \times b \times d = 0,0085 \times 300 \times 340,5 = 869,54 \text{ mm}^2$$

Direncanakan D19 :

$$n = \frac{869,54}{0,25 \times \pi \times (19)^2} = 3,06 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan 4 D 19 mm (  $As_{\text{pasang}} = 1134,11 \text{ mm}^2$  )

$$As_{\text{tekan}} = 0,5 \times As_{\text{tarik}} = 0,5 \times 869,54 \text{ mm}^2 = 434,77 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 2 D 19 mm (  $As_{\text{pasang}} = 567,06 \text{ mm}^2$  )

Kontrol jarak tulangan ;

$$s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \phi_{\text{sengkang}}) - (n \times D_{\text{tul.lentur}})}{n - 1}$$

$$s = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$s = 41,33 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan tulangan akibat terpasang tulangan tunggal (akibat tulangan tarik) :

$$a = \frac{A_{spasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_w} = \frac{113411 \times 420}{0,85 \times 30 \times 300} = 62,26 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = 113411 \times 420 \times \left( 340,5 - \frac{62,26}{2} \right)$$

$$M_n = 147360457 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} M_{n \text{ kapasitas}} & \geq & M_{n \text{ yang terjadi}} \\ 147360457 \text{ Nmm} & \geq & 115635555,6 \text{ Nmm} \quad (\text{OK}) \end{array}$$

Jadi, dipasang tulangan lentur pada tarik 4 D19 dan tekan 2 D19

#### 4.3.6.3 Perhitungan Penulangan Geser

Direncanakan Tulangan geser 2 kaki  $\phi$  10 ( $A_s = 157,1 \text{ mm}^2$ )

$$V_u = 61,259 \text{ kN} = 61259 \text{ N}$$

Sumbangan kekuatan geser beton :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 340,5 = 95114,76 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 95114,76 \text{ N} = 71336,07 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 71336,07 \text{ N} = 35668,03 \text{ N}$$

$$V_{s \min} = \frac{1}{3} \times b_w \times d = \frac{1}{3} \times 300 \times 340,5 = 34050 \text{ N}$$

$$\phi (V_c + V_{s \min}) = 0,75 \times (95114,76 + 34050) = 96873,57 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi \left( V_c + \frac{1}{3} \times b_w \times d \times \sqrt{f_c'} \right) &= 0,75 \times \left( 95114,76 + \frac{1}{3} \times 300 \times 340,5 \times \sqrt{30} \right) \\ &= 209811,97 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek Kondisi Perencanaan geser(SNI 2847-2013 Psl 11.1)

1.  $V_u \leq 0,5 \phi V_c$  (tidak perlu tul. geser)  
 $61259 \text{ N} > 35668,03 \text{ N}$
2.  $0,5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$  (perlu tul. geser minimum)  
 $35668,03 \text{ N} < 61259 \text{ N} > 71336,07 \text{ N}$  (OK)
3.  $\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s \min})$  (perlu tul. geser minimum)  
 $71336,07 \text{ N} < 61259 \text{ N} < 96873,57 \text{ N}$

Dipasang tulangan sengkang minimum

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \times 3 \times f_y}{b_w} = \frac{157,08 \times 3 \times 240}{300} = 376,99 \text{ mm}$$

Syarat :

$$s_{\text{maks}} \leq \frac{d}{2} = \frac{342}{2} = 171 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} \leq 600 \text{ mm}$$

Maka dipasang sengkang Ø10-150 mm

Gaya Geser Perlawanan Sengkang

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{157,08 \times 240 \times 340,5}{150} = 85576,98 \text{ N}$$

$$\phi V_s = 0,75 \times 85576,98 = 64182,74 \text{ N}$$

$$\phi V_s + \phi V_c = 64182,74 \text{ N} + 71336,07 \text{ N}$$

$$= 135518,81 \text{ N} > 61259 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

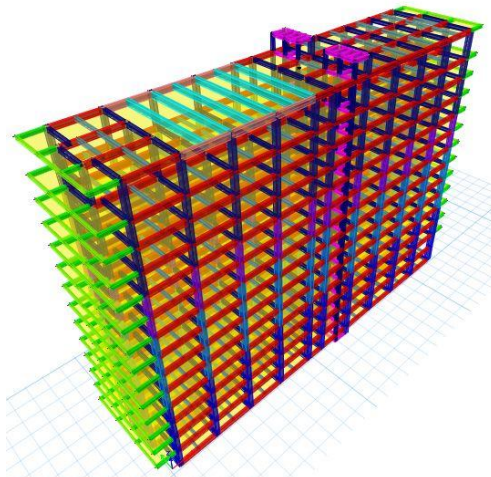
Jadi, dipasang sengkang Ø10 – 150 m

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Penulangan Balok Kantilever

Jenis Balok	Penulangan Lentur		Penulangan Geser
	Tarik	Tekan	
BK	4D19	2D19	Ø10-150

#### 4.4 Pembebanan dan Permodelan Struktur

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2013, dan pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 03-1726-2012, yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.



Gambar 4. 25 Permodelan struktur dengan program ETABS

##### 4.4.1 Pembebanan

Beban-beban yang terjadi meliputi beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa.

##### 4.4.1.1 Beban Mati dan Beban Hidup

Beban mati terdiri dari berat sendiri elemen struktur dan berat sendiri tambahan. Beban hidup berdasarkan SNI 1727-2013 Tabel 4-1. Uraannya sebagai berikut :

- Beban Mati (PPIUG 1983 dan Brosur)
  - Beton bertulang =  $2400 \text{ kg/m}^3$

- Spesi = 21 kg/m<sup>3</sup>
  - Keramik = 22 kg/m<sup>3</sup>
  - Dinding = 100,04 kg/m<sup>3</sup>
  - Aspal = 14 kg/m<sup>3</sup>
  - Plafond = 6,4 kg/m<sup>3</sup>
  - Penggantung = 8,7 kg/m<sup>3</sup>
  - Pemipaan Air = 25 kg/m<sup>3</sup>
  - AC & Instalasi Listrik = 40 kg/m<sup>3</sup>
- Beban Hidup (SNI 1727:2013)
    - Lantai Atap = 96 kg/m<sup>2</sup>
    - Ruang Pribadi = 192 kg/m<sup>2</sup>
    - Lantai Koridor = 192 kg/m<sup>2</sup>
    - Ruang Publik = 479 kg/m<sup>2</sup>
    - Ruang Pertemuan = 479 kg/m<sup>2</sup>
    - Lantai *Basement* = 800 kg/m<sup>2</sup>
    - Pelat Tangga, Bordes = 479 kg/m<sup>2</sup>
  - Rekapitulasi Beban Mati dan Hidup Bangunan Gedung

Tabel 4. 15 Beban total struktur gedung

Lantai	Jenis Beban	Komponen	Berat (kg)	Total (kg)
Basement	Mati	Kolom	96153,60	1242529,54
		Sloof	237569,40	
		Pelat	452423,79	
		Tangga	17729,80	
		Dinding	60699,45	
	Hidup	Pelat	369270,72	
		Tangga	8682,78	
1	Mati	Kolom	178272,00	1220739,34
		Balok	228414,00	
		Pelat	320860,18	
		Tangga	24986,01	
		Dinding	85594,47	
	Hidup	Pelat	369270,72	
		Tangga	13341,97	

2-3.	Mati	Kolom	178272,00	2202128,26
		Balok	243615,00	
		Pelat	350351,00	
		Tangga	24986,01	
		Dinding	125420,52	
	Hidup	Pelat	165077,64	
		Tangga	13341,97	
4-7.	Mati	Kolom	133920,00	4226848,52
		Balok	243615,00	
		Pelat	350351,00	
		Tangga	24986,01	
		Dinding	125420,52	
	Hidup	Pelat	165077,64	
		Tangga	13341,97	
8-12.	Mati	Kolom	118080,00	5204360,65
		Balok	243615,00	
		Pelat	350351,00	
		Tangga	24986,01	
		Dinding	125420,52	
	Hidup	Pelat	165077,64	
		Tangga	13341,97	
13	Mati	Kolom	129672,00	1156671,25
		Balok	232311,00	
		Pelat	356249,17	
		Tangga	12493,00	
		Dinding	129349,10	
	Hidup	Pelat	289926,00	
		Tangga	6670,98	
Atap	Mati	Kolom	80280,00	735602,18
		Balok	232300,80	
		Pelat	314504,60	
		Tangga	9025,61	
	Hidup	Pelat	95149,78	
		Tangga	4341,39	
Total Beban Keseluruhan				15988879,75
Beban Mati				12869609,74
Beban Hidup				3119270,01

Berdasarkan tabel diatas, maka didapatkan beban sesimik efektif struktur ( $W$ ) sebagai berikut ::

$$D = 12869609,74 \text{ kg}$$

$$L = 3119270,01$$

$$W = D + (0,3 \times L)$$

$$= 12869609,74 + (0,3 \times 3119270,01)$$

$$= 13805390,74 \text{ kg}$$

$$= 138053,90 \text{ kN}$$

Kontrol dengan Beban dari permodelan struktur ETABS :

Tabel 4. 16 Beban total struktur gedung dari ETABS

Load Case/Combo	FZ
	kN
Dead	91586,44
Live	29156,71
Live Roof	833,41
Dinding	18258,36
Aspal	121,54
Plafon	725,26
Penggantung	985,90
Pemipaan Air	3024,61
AC & Instalasi Listrik	4839,38
Spesi	4887,39
Keramik	2477,88
Hujan	170,16
Lift	694,20
Total	157761,25

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih \%} &= \frac{W_{\text{total}} - W_{\text{ETABS}}}{W_{\text{total}}} \\
 &= \frac{159888,79 - 157761,25}{159888,79} \\
 &= 1,33 \% < 5 \% \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

#### 4.4.1.2 Beban Angin

Dalam perhitungan pembebanan angin menggunakan SNI 1727:2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Dalam peraturan tersebut beban angin di desain untuk bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) harus ditentukan dengan menggunakan salah satu dari empat prosedur yaitu prosedur pengarah untuk bangunan gedung seluruh ketinggian, prosedur amplop untuk bangunan gedung bertingkat rendah, prosedur pengarah untuk perlengkapan bangunan gedung, dan prosedur terowongan angin.

Berikut perhitungan pembebanan angin bangunan gedung Apartemen Pavillion Permata Surabaya :

1. Data Perencanaan:

Fungsi bangunan	= Apartemen
Tinggi bangunan	= 43,2 m
Panjang bangunan	= 63 m
Lebar bangunan	= 13,65 m
Tinggi lantai	= 3 m

2. Kategori bangunan gedung

- Sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.2

Termasuk bangunan gedung tertutup karena bangunan gedung tidak memenuhi persyaratan untuk bangunan gedung terbuka dan bangunan gedung tertutup sebagian

- Sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.2 dan 26.9.2

Termasuk bangunan kaku karena memenuhi persyaratan sebagai berikut :

Penentuan Frekuensi

- Tinggi bangunan  $\leq 91$  m  
 $43,2 \text{ m} \leq 91 \text{ m} \quad (\text{OK})$
- Tinggi bangunan  $\leq 4 \times L_{\text{eff}}$   
 $L_{\text{eff}} = \frac{\sum h_i L_i}{\sum h_i} = 13,65 \text{ m}$   
 Maka,  $43,2 \text{ m} \leq 4 \times 13,65 \text{ m}$   
 $43,2 \text{ m} \leq 54,6 \text{ m} \quad (\text{OK})$



Sehingga dapat dihitung sesuai dengan pasal 26.9.3 frekuensi alami perkiraan.

Untuk beton bangunan rangka penahan momen

$$n_a = \frac{43,5}{h^{0,9}} = \frac{43,5}{43,2^{0,9}} = 1,467 \text{ Hz}$$

Maka,  $n_a \geq 1 \text{ Hz}$

$$1,467 \text{ Hz} \geq 1 \text{ Hz} \quad (\text{OK})$$

- Dari uraian diatas maka pembebanan angin pada bangunan gedung SPBAU menggunakan prosedur pengarah (lihat SNI 1727:2013 pasal 27)

3. Langkah-langkah untuk menentukan beban angin SPBAU untuk bangunan gedung tertutup dengan prosedur pengarah (SNI 1727:2013 tabel 27.2-1)

a) Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain (SNI 1727:2013 tabel 1.5-1)

Tabel 4. 17 Kategori resiko bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II

b) Menentukan kecepatan angin dasar (V)

Data Angin dari Badan Pusat Statistika, kemudian dihitung dengan persamaan regresi linier sederhana agar mendapatkan perkiraan nilai data hujan tahun 2018.

Tabel 4. 18 Data angin surabaya

	x (tahun)	y (V) (m/s)	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy
Data Angin Surabaya	2011	7,2	4044121	51,84	14479,2
	2012	13,3	4048144	176,89	26759,6
	2013	19,25	4052169	370,5625	38750,25
	2014	7,3	4056196	53,29	14702,2
	2015	3,88	4060225	15,0544	7818,2
Total	10065	50,93	20260855	667,6369	102509,45

Persamaan Regresi Linier Sederhana

$$Y = a + bX$$

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} = 2554,618$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} = -1,264$$

$$Y_{2018} = 2554,618 - (1,264 \times 2018) = 3,866 \text{ m/s}$$

Maka kecepatan angin pada tahun 2018 adalah  $V = 3,866 \text{ m/s}$

c) Menentukan Faktor arah angin

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.6-1, maka  $K_d = 0,85$

Tabel 4. 19 Tipe struktur

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin $K_d$
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame	
pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

d) Kategori Eksposur

Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 26.7. Maka termasuk dalam eksposur B

e) Faktor topografi

Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 26.8.2,  $K_{zt} = 1$

f) Faktor efek tiupan angin

Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 26.9.1

Faktor efek tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku diambil  $G = 0,85$

g) Koefisien tekanan internal

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.11-1

Tabel 4. 20 Klasifikasi ketertutupan

Klasifikasi Ketertutupan	( $GC_{pi}$ )
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

Maka,  $GC_{pi} = + 0,18$  dan  $- 0,18$

h) Koefisien eksposur tekanan velositas

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 27.3-1

Tinggi bangunan ( $z$ ) = 20,8 m

Interpolasi nilai  $z$  :

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$\frac{43,2 - 42,7}{48,8 - 42,7} = \frac{y - 1,09}{1,13 - 1,09}$$

$$\frac{0,5}{6,1} = \frac{y - 1,09}{0,04}$$

$$y = 1,093$$

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.9.1

Eksposur B  $\rightarrow \alpha = 7$

$$z_g = 365,76 \text{ m}$$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{43,2}{365,76} \right)^{\frac{2}{7}}$$

$$K_z = 1,093$$

Maka,  $K_z = K_h = 1,093$  (karena atap datar)

i) Menentukan tekanan velositas

Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 27.3.2

$$q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

$$q_z = 0,613 \times 1,093 \times 1 \times 0,85 \times 3,866^2$$

$$q_z = 8,502 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613 \times K_h \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

$$q_h = 0,613 \times 1,093 \times 1 \times 0,85 \times 3,866^2$$

$$q_h = 8,502 \text{ N/m}^2$$

j) Menentukan koefisien tekanan eksternal

Sesuai dengan SNI 1727:2013 gambar 27.4-1 untuk dinding dan atap rata.

Tabel 4. 21 Koefisien tekanan

Koefisien tekanan dinding, $C_p$			
Permukaan	L/B	$C_p$	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	$q_z$
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	- 0,5	$q_h$
	2	- 0,3	
	$\geq 4$	- 0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	$q_h$

Dinding di sisi angin datang ( $q_z$ )

$$C_p = 0,8$$

Dinding di sisi angin pergi ( $q_h$ )

$$\frac{L}{B} = \frac{24 \text{ m}}{52 \text{ m}} = 0,46 \text{ maka, } C_p = -0,5$$

Dinding tepi ( $q_h$ )

$$C_p = -0,7$$

k) Tekanan angin pada setiap permukaan bangunan gedung kaku. Sesuai dengan SNI 1727:2013 persamaan 27.4-1, maka didapatkan nilai sebagai berikut :

- Dinding di sisi angin datang

$$p = q \cdot G \cdot C_{pi} - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 8,502 \times 0,85 \times 0,8 - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = 5,782 \text{ N/m}^2 = 0,578 \text{ kg/m}^2$$

- Dinding di sisi angin pergi

$$p = q \cdot G \cdot C_{pi} - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 8,502 \times 0,85 \times (-0,5) - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = -3,613 \text{ N/m}^2 = -0,361 \text{ kg/m}^2$$

- Dinding tepi

$$p = q \cdot G \cdot C_{pi} - q_i \cdot (GC_{pi})$$

$$p = 8,502 \times 0,85 \times (-0,7) - 0 \cdot (+0,18)$$

$$p = -5,059 \text{ N/m}^2 = -0,506 \text{ kg/m}^2$$

- l) Input beban angin di ETABS

#### 4.4.1.3 Beban Gempa

Desain beban gempa mengacu peraturan gempa terbaru yaitu SNI 1726-2012. Tahapan-tahapan dalam menentukan beban gempa dinamik diantaranya sebagai berikut :

1. Menentukan kategori risiko bangunan

Penentuan kategori risiko bangunan disesuaikan dengan fungsi dari bangunan itu sendiri.

Tabel 4. 22 Kategori resiko bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II

## 2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )

Faktor keutamaan gempa didapatkan berdasarkan kategori risiko yang telah didapatkan pada langkah 1. Sehingga didapatkan faktor keutamaan gempa seperti berikut :

Tabel 4. 23 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

## 3. Menentukan Parameter Percepatan Tanah ( $S_s, S_1$ )

Menentukan parameter percepatan respons spectral MCE pada perioda pendek.

Tabel 4. 24 Parameter  $S_s$  dan  $S_1$  wilayah Surabaya

Parameter Percepatan respon Spectral	Peta Gempa SNI 1726-2012	Puskim
$S_s$	(0,2 – 0,7) g	0,663
$S_1$	(0,2 – 0,3) g	0,247

#### 4. Menentukan Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 5.1 penentuan klasifikasi situs dilakukan dengan menentukan tahanan penetrasi rata-rata ( $\bar{N}$ ).

Tabel 4. 25 Data  $N_{SPT}$

Lapisan ke- (i)	Tebal per lapisan (di)	Deskripsi Tanah	Nilai N- SPT	di/Ni
1	4	Lempung berlanau berpasir	9	0,444
2	12	Lanau berlempung berpasir	32	0,375
3	14	Lempung berlanau	23,2	0,603
$\Sigma$	30			1,423

Maka tahanan penetrasi rata-rata ( $\bar{N}$ ) adalah :

$$\bar{N} = \frac{\sum \frac{di}{N_i}}{\sum \frac{di}{N_i}} = \frac{30}{1,423} = 21,084, \text{ termasuk dalam klasifikasi situs}$$

tanah sedang (SD)

#### 5. Menentukan Koefisien Lokasi $F_a$ dan $F_v$

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 6.2 koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  ditentukan berdasarkan tabel 4 dan 5 pada SNI 1726-2012.

- Menentukan  $F_a$

Berdasarkan tabel 4 pada SNI 1726-2012 serta dengan menggunakan parameter  $S_s$  dengan klasifikasi situs tanah sedang (SD) didapatkan  $F_a$  sebesar 1,270.

- Menentukan  $F_v$

Berdasarkan tabel 5 pada SNI 1726-2012 serta dengan menggunakan parameter  $S_I$  dengan klasifikasi situs tanah sedang (SD) didapatkan  $F_v$  sebesar 1,906.

#### 6. Menghitung nilai $S_{MS}$ dan $S_{M1}$

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 6.2 untuk menentukan parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

Dengan menggunakan parameter  $F_a$  dan  $F_v$  pada langkah 5 serta  $S_s$  dan  $S_1$  pada Tabel 6.12. Maka didapatkan,

$$S_{MS} = 1,270 \times 0,663 = 0,842$$

$$S_{M1} = 1,906 \times 0,247 = 0,471$$

#### 7. Menentukan Parameter Percepatan Spektrum Desain ( $S_{DS}$ dan $S_{D1}$ ).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,842 = 0,561$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,471 = 0,314$$

#### 8. Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 pada SNI 1726-2012 serta menggunakan parameter yang telah ditentukan pada langkah sebelumnya maka, Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya termasuk pada kategori desain seismik D. Pemilihan kategori desain sebagai berikut :

Tabel 4. 26 Penentuan Kategori Desain Seismik

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D



Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

### 9. Menentukan Sistem Penahan Gempa

Berdasarkan tabel 9 pada SNI 1726-2012 sistem struktur akan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus.

Pemilihan sistem penahan gempa tersebut diperlihatkan pula pada tabel berikut :

Tabel 4. 27 Penentuan Sistem Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat-lebih sistem, $\Omega_o^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>					
				Kategori desain seismik					
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>	
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB	

Berdasarkan diatas didapatkan pula data tambahan untuk desain struktur yaitu :

$R^a = 8$  (Koefisien Modifikasi Respon)

$\Omega_o^g = 3$  (Faktor Kuat Lebih Sistem)

$C_d^b = 5,5$  (Faktor Pembesaran Defleksi)

### 10. Menentukan Perkiraan Periode Alami Fundamental

Berdasarkan SNI 1726 2012 Ps. 7.8.2 penentuan perkiraan perioda alami fundamental ( $T_a$ ) harus ditentukan dari persamaan 26 pada SNI 1726-2012. Dengan parameter  $C_t$  dan  $x$  diambil dari tabel 15 SNI 1726 2012, serta  $h_n$  merupakan total tinggi bangunan.

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0466 \times 43,2^{0,9} = 1,381 \text{ detik}$$

Batas atas perioda struktur didapatkan dengan mengalikan nilai periode fundamental perkiraan dengan koefisien  $C_u$ . Berdasarkan nilai  $S_{D1}$  yang didapat dari perhitungan sebelumnya.

$$C_u = 1,4 \rightarrow C_u (\text{Tabel 14 SNI 1726-2012})$$

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 1,381 = 1,934 \text{ detik.}$$

$$T_c = 1,79 \text{ detik (dari permodelan struktur ETABS)}$$

$$\text{Sehingga, } T_a < T_c < C_u \times T_a \rightarrow 1,381 < 1,79 < 1,934$$

$$\text{Maka dipakai } T = T_c = 1,79 \text{ detik}$$

## 11. Perhitungan Gaya Dasar Seismik (V)

Menurut SNI 1726-2012 ps. 7.8.1.1 koefisien Respon Seismik ( $C_s$ ) ditentukan dengan perumusan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} = \frac{0,561}{8/1} = 0,070$$

Dan  $C_s$  tidak lebih dari :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,561}{1,79 \left( \frac{8}{1} \right)} = 0,022$$

Dan  $C_s$  tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_s = 0,044 \times 0,561 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_s = 0,0247 \geq 0,01$$

Maka, nilai  $C_s$  diambil 0,0247

Berdasarkan SNI 1726-2012 Ps. 7.8.1 penentuan gaya dasar seismik (V) dihitung berdasarkan persamaan 21 pada SNI 1726-2012. Sebagaimana ditunjukkan pula pada rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W \\ &= 0,0247 \times 13805390,74 \\ &= 340871,40 \text{ kg} = 3408,71 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 12. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral yang timbul pada semua tingkat harus ditentukan berdasarkan persamaan 30 pada SNI 1726-2012. Sebagaimana ditunjukkan pula pada rumus dibawah ini :

$$F_x = C_{vx} V$$

Dimana :

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Untuk  $T < 0,5$  s; maka nilai  $k = 1$

$T > 2,5$  s; maka nilai  $k = 2$

$0,5 \text{ s} < T < 2,5 \text{ s}$  ; maka nilai  $k$  diperoleh dengan cara interpolasi dari kedua nilai  $k$  di atas.

$T = 1,79$  detik, maka nilai  $k$  adalah :

$$k = 1 + \left( \frac{1,79 - 0,5}{2,5 - 0,5} (2 - 1) \right) = 1,645$$

Maka, besarnya distribusi beban geser akibat gempa dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 28 Gaya gempa ( $F_x$ ) pada tiap lantai

Lantai	hi	wi	$w_x h_x^k$	$C_{vx}$	$F_x$ (kN)
R.lift	43	597.94817	86807.858	0.023	127.48
Atap	40	4863.75	641649.68	0.168	942.27
Lantai 12	36	4758.63	546069.96	0.143	801.91
Lantai 11	33	4758.63	486670.61	0.127	714.68
Lantai 10	30	4758.63	428994.68	0.112	629.98
Lantai 9	27	4758.63	373157.23	0.098	547.98
Lantai 8	24	4758.63	319294.55	0.083	468.89
Lantai 7	21	4758.63	267571.07	0.070	392.93
Lantai 6	18	4758.63	218190.12	0.057	320.41
Lantai 5	15	4758.63	171411.01	0.045	251.72
Lantai 4	12	4758.63	127578.66	0.033	187.35
Lantai 3	9	4758.63	87181.008	0.023	128.03
Lantai 2	6	4943.25	52953.625	0.014	77.76
Mezzanin	3	4445.8229	19029.27	0.005	27.94
TOTAL		62437.07	3826559.3	1.000	5619.34

Tabel 4. 29 Gaya gempa (Fy) pada tiap lantai

Lantai	hi	wi	$w_i h_i^k$	$C_{vx}$	Fy (kN)
R.lift	43	597.94817	72469.048	0.022	124.60
Atap	40	4863.75	537525.54	0.164	924.20
Lantai 12	36	4758.63	459775.43	0.141	790.52
Lantai 11	33	4758.63	411477.84	0.126	707.48
Lantai 10	30	4758.63	364376.27	0.111	626.50
Lantai 9	27	4758.63	318556.45	0.097	547.71
Lantai 8	24	4758.63	274120.4	0.084	471.31
Lantai 7	21	4758.63	231191.91	0.071	397.50
Lantai 6	18	4758.63	189924.94	0.058	326.55
Lantai 5	15	4758.63	150517.27	0.046	258.79
Lantai 4	12	4758.63	113234.13	0.035	194.69
Lantai 3	9	4758.63	78454.57	0.024	134.89
Lantai 2	6	4943.25	48589.724	0.015	83.54
Mezzanin	3	4445.8229	18051.792	0.006	31.04
TOTAL		62437.07	3268265.3	1.000	5619.34

### 13. Merencanakan Respon Spektrum

Kurva Respon Spektrum harus mengikuti ketentuan SNI 1726-2012 Pasal 6.4 dibawah ini :

$$T_0 = \frac{0,2S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,2 \times 0,314}{0,561} = 0,112 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,314}{0,561} = 0,559 \text{ detik}$$

Untuk perioda yang lebih kecil  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain ( $S_a$ ), harus didesain dengan persamaan:

Untuk,  $T = 0 \rightarrow T < T_0$ , maka :

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) = 0,663 \left( 0,4 + 0,6 \frac{0}{0,112} \right) = 0,224$$

Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spectrum respon percepatan desain ( $S_a$ ) sama dengan  $S_{DS}$ .

Untuk,  $T=1,381 \rightarrow T_0 \leq T \leq T_s$ , maka :  $S_a = S_{DS} = 0,663$

Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spectrum respon percepatan desain ( $S_a$ ) diambil berdasarkan persamaan :

Untuk,  $T = 1,381 \rightarrow T > T_s$ , maka :

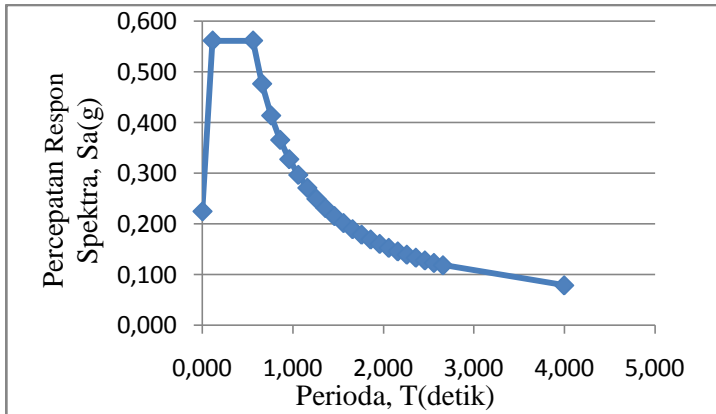
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,314}{1,381} = 0,227$$

Perhitungan tersebut juga diperlihatkan pada tabel berikut dengan interval data sebesar 1 detik.

Tabel 4. 30 Perhitungan Spektrum Desain

T (Detik)	T (Detik)	Sa
0	0	0,224
T0	0,112	0,561
Ts	0,559	0,561
TS+0	0,659	0,476
TS+0,1	0,759	0,413
TS+0,2	0,859	0,365
TS+0,3	0,959	0,327
TS+0,4	1,059	0,296
TS+0,5	1,159	0,271
TS+0,6	1,259	0,249
TS+0,7	1,359	0,231
TS+0,8	1,459	0,215
TS+0,9	1,559	0,201
TS+1,0	1,659	0,189
TS+1,1	1,759	0,178
TS+1,2	1,859	0,169
TS+1,3	1,959	0,160
TS+1,4	2,059	0,152
TS+1,5	2,159	0,145
TS+1,6	2,259	0,139
TS+1,7	2,359	0,133
TS+1,8	2,459	0,128
TS+1,9	2,559	0,123
TS+2,0	2,659	0,118
4	4	0,078

Dengan menggunakan interval perioda sebesar 0,1 detik didapatkan grafik respon spektrum desain seperti pada gambar grafik berikut :



Gambar 4. 26 Grafik Respon Spektrum

#### 4.4.2 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang diterapkan pada bangunan ini dibuat berdasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 sebagai berikut :

- 1)  $U=1,4D$
- 2)  $U=1,2D+1,6L+0,5R$
- 3)  $U=1,2D+1,6L+0,5L_r$
- 4)  $U=1,2D+1,6R+1L$
- 5)  $U=1,2D+1,6R+0,5W$
- 6)  $U=1,2D+1,6L_r+L$
- 7)  $U=1,2D+1,6L_r+0,5W$
- 8)  $U=1,2D+1W+1L+0,5R$
- 9)  $U=1,2D+1W+1L+0,5L_r$
- 10)  $U=1,2D+1,6L+0,3Ex+1Ey$
- 11)  $U=1,2D+1,6L+1Ex+0,3Ey$

- 12)  $U=0,9D+1W$   
 13)  $U=0,9D+1Ex+0,3Ey$   
 14)  $U=0,9D+0,3Ex+1Ey$

Untuk kombinasi beban gempa vertikal berdasarkan dan faktor redudansi maka kombinasi nomor 10,11,13, dan 14 dimodifikasi. Berdasarkan SNI 1726:2012 besarnya beban gempa vertikal ditentukan sebesar  $E_v = 0,2S_d D$ , kemudian faktor redudansi berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.4.2 didapatkan nilai  $\rho = 1,3$ . Modifikasi kombinasi pembebanan setelah mendapat pengaruh beban vertikal dan faktor redudansi adalah sebagai berikut:

- 10  $U=(1,2+0,2S_d)D+1,3Ex+0,39Ey$   
 11  $U=(1,2+0,2S_d)D+0,39Ex+1Ey$   
 13  $U=(0,9-0,2S_d)D+1,3Ex+0,39Ey$   
 14  $U=(0,9-0,2S_d)D+0,39Ex+1,3Ey$

Untuk beban gempa, analisa terhadap arah gaya gempa yang berbalik arah maka ditambah kombinasi pembebanan sebagai berikut :

- 15  $U=(1,2+0,2S_d)D-1,3Ex-0,39Ey$   
 16  $U=(1,2+0,2S_d)D-0,39Ex-1Ey$   
 17  $U=(0,9-0,2S_d)D-1,3Ex-0,39Ey$   
 18  $U=(0,9-0,2S_d)D-0,39Ex-1,3Ey$

#### 4.4.3 Kontrol Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan SNI 1726-2012, hasil analisis struktur harus dikontrol melalui suatu batasan tertentu. Hal tersebut dilakukan untuk meninjau kelayakan struktur dalam memikul beban – beban yang bekerja. Kontrol – kontrol tersebut antara lain :

- Periode Struktur Fundamental
- Kontrol Akhir *Base Reaction*
- Jumlah Respon Ragam
- Kontrol Simpangan
- Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga

- Kontrol Pengaruh P – Delta

#### 4.4.3.1 Kontrol Waktu Getar Alami

Berikut hasil output analisis struktur ETABS untuk periode struktur fundamental (T) :

Tabel 4. 31 Periode struktur fundamental (T)

Mode	Periode
1	1,79
2	1,771
3	1,559
4	0,593
5	0,583
6	0,531
7	0,341
8	0,331
9	0,319
10	0,232
11	0,228

#### 4.4.3.2 Kontrol Akhir Base Reaction

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4, nilai akhir  $V_{dinamik}$  harus lebih besar sama dengan 85%  $V_{statik}$ . Maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan sbb:

$$V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$$

Maka nilai akhir *base reaction respon spectrum* hasil analisis menggunakan program bantu analisis struktur dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 32 Nilai akhir *base reaction*

Arah Gempa	Gaya (kN)
Fx	2912,2608
Fy	2899,8193



Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4, gaya dasar ( $V$ ) yang ditentukan dengan menggunakan persamaan 21 pada SNI 03-1726-2012 harus dihitung dalam masing-masing dua arah horisontal orthogonal dengan menggunakan perioda fundamental struktur dari hasil analisis struktur menggunakan komputer ( $T_c$ ) seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel 4. 33 Gaya geser dasar ( $V$ ) pada masing-masing arah

Arah Gempa	V (kN)	0,85 V (kN)
Sumbu X	3408,714	2897,407
Sumbu Y	3408,714	2897,407

Maka didapatkan kontrol akhir *base reaction* sebagai berikut :

- Sumbu X
 

$V_{dinamik}$	$\geq$	$0,85 V_{statik}$	
2912,261 kN	$\geq$	2897,407 kN	(OK)
- Sumbu Y
 

$V_{dinamik}$	$\geq$	$0,85 V_{statik}$	
2899,819 kN	$\geq$	2897,407 kN	(OK)

Maka gempa dinamik telah memenuhi persyaratan pada peraturan SNI 1726-2012.

#### 4.4.3.3 Jumlah Respon Ragam

Berdasarkan SNI 1726-2012 Ps. 7.9.1 bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa actual dalam masing-masing arah horizontal orthogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Berdasarkan uraian tersebut didapatkan hasil jumlah respon ragam yang diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel 4. 34 Jumlah respon ragam

Mode	Sum UX	Sum UY
1	0,0171	0,0007
2	0,0171	0,7359
3	0,7566	0,7359
4	0,7597	0,7412
5	0,7599	0,8427
6	0,8584	0,8428
7	0,8605	0,8521
8	0,8639	0,8797
9	0,8952	0,8806
10	0,9146	0,8806
11	0,9146	0,903

Berdasarkan tabel diatas menunjukan bahwa pada *mode shape* 11, syarat partisipasi massa telah terpenuhi.

#### 4.4.3.4 Kontrol Simpangan (*Drift*)

Berdasarkan SNI 1726-2012 kontrol *drift* dan syarat drift harus ditentukan berdasarkan perumusan 34 pada SNI 1726-2012 Pasal 7.8.6 yaitu sebagai berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I}$$

Dimana :

$\delta_x$  = Defleksi pada lantai ke-x

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi (5,0)

$I$  = Faktor keutamaan gempa

Sedangkan untuk syarat simpangan antar lantai ijin pada SNI 1726-2012 Pasal 7.12.1,  $\Delta_s = 0,020h_{sx}$  dengan  $\Delta_s$  merupakan selisih antara defleksi yang ditunjukkan pada analisis struktur, ( $\delta_{xe}$ ) dengan defleksi akibat pembesaran, ( $\delta_x$ ).

Hasil dari kontrol simpangan pada analisis struktur akibat gempa dinamik pada masing-masing arah diperlihatkan pada tabel berikut :

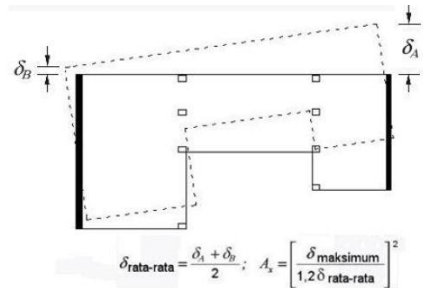
Tabel 4. 35 Kontrol simpangan arah-X

Lantai	h	$\delta x_e$	$\delta x$	Drift ( $\Delta s$ )	Syarat ( $\Delta s$ )	Ket
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Lantai Atap	4,2	26,19	144,03	5,29	80,77	OK
Lantai 13	3	25,23	138,74	4,70	57,69	OK
Lantai 12	3	24,37	134,05	6,23	57,69	OK
Lantai 11	3	23,24	127,81	7,79	57,69	OK
Lantai 10	3	21,82	120,02	9,21	57,69	OK
Lantai 9	3	20,15	110,81	10,51	57,69	OK
Lantai 8	3	18,24	100,30	11,30	57,69	OK
Lantai 7	3	16,18	89,00	12,42	57,69	OK
Lantai 6	3	13,92	76,58	13,51	57,69	OK
Lantai 5	3	11,47	63,07	14,58	57,69	OK
Lantai 4	3	8,82	48,50	13,41	57,69	OK
Lantai 3	3	6,38	35,09	13,85	57,69	OK
Lantai 2	3	3,86	21,24	13,27	57,69	OK
Lantai 1	3	1,45	7,96	7,96	57,69	OK
Lantai Basement	3	0	0	0	57,69	OK

Tabel 4. 36 Kontrol simpangan arah-Y

Lantai	h	$\delta x_e$	$\delta x$	Drift ( $\Delta s$ )	Syarat ( $\Delta s$ )	Ket
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Lantai Atap	4,2	37,59	206,75	8,83	80,77	OK
Lantai 13	3	35,99	197,92	9,37	57,69	OK
Lantai 12	3	34,28	188,55	10,64	57,69	OK
Lantai 11	3	32,35	177,91	12,26	57,69	OK
Lantai 10	3	30,12	165,65	13,98	57,69	OK
Lantai 9	3	27,58	151,67	15,61	57,69	OK
Lantai 8	3	24,74	136,06	16,46	57,69	OK
Lantai 7	3	21,75	119,60	17,70	57,69	OK
Lantai 6	3	18,53	101,90	18,92	57,69	OK
Lantai 5	3	15,09	82,98	19,97	57,69	OK
Lantai 4	3	11,46	63,01	19,68	57,69	OK
Lantai 3	3	7,88	43,33	19,09	57,69	OK
Lantai 2	3	4,41	24,24	16,19	57,69	OK
Lantai 1	3	1,47	8,06	8,06	57,69	OK
Lantai Basement	3	0	0	0	57,69	OK

#### 4.4.3.5 Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga



Gambar 4. 27 Pembesaran torsi tak terduga

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Tabel 10 struktur dikategorikan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b bila ketentuan dibawah ini terpenuhi :

$\delta_{max} < 1,2\delta_{avg}$  → Tanpa Ketidakberaturan Torsi

$1,2\delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4\delta_{avg}$  → Ketidakberaturan Torsi 1a

$\delta_{max} > 1,4\delta_{avg}$  → Ketidakberaturan Torsi 1b

Tabel 4. 37 Joint displacement akibat beban spectra arah-x

Unique Name	Load Case/Combo	UX (mm)	Unique Name	Load Case/Combo	UX (mm)
1	Gempa X Max	27,327	129	Gempa X Max	25,995
2	Gempa X Max	27,327	130	Gempa X Max	25,644
3	Gempa X Max	27,327	131	Gempa X Max	25,644
4	Gempa X Max	27,327	132	Gempa X Max	25,644
5	Gempa X Max	27,327	133	Gempa X Max	25,644
6	Gempa X Max	27,327	134	Gempa X Max	25,644
7	Gempa X Max	27,327	135	Gempa X Max	25,644
56	Gempa X Max	27,327	136	Gempa X Max	25,644
97	Gempa X Max	27,327	137	Gempa X Max	25,644
98	Gempa X Max	27,327	138	Gempa X Max	25,644
103	Gempa X Max	27,327	139	Gempa X Max	25,644
1521	Gempa X Max	26,519	140	Gempa X Max	25,644
116	Gempa X Max	26,519	1551	Gempa X Max	25,644
1522	Gempa X Max	25,995	1617	Gempa X Max	27,327
$\delta_{avg}$	27,327				

*Point displacement* tersebut didapatkan akibat beban spektra arah-X

Maka didapatkan analisis sebagai berikut:

$$1,2\delta_{avg} = 1,2 \times 27,327 = 37,792 \text{ mm}$$

$$\therefore \delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$$

$$27,327 < 37,792 \rightarrow \text{Tanpa Ketidakberaturan Torsi}$$

Tabel 4. 38 Joint displacement akibat beban spectra arah-Y

Unique Name	Load Case/Combo	UY (mm)	Unique Name	Load Case/Combo	UY (mm)
1	Gempa Y Max	43,587	129	Gempa Y Max	43,366
2	Gempa Y Max	42,318	130	Gempa Y Max	43,587
3	Gempa Y Max	41,05	131	Gempa Y Max	42,318
4	Gempa Y Max	39,782	132	Gempa Y Max	41,05
5	Gempa Y Max	38,515	133	Gempa Y Max	39,782
6	Gempa Y Max	37,881	134	Gempa Y Max	38,515
7	Gempa Y Max	38,394	135	Gempa Y Max	37,881
56	Gempa Y Max	39,582	136	Gempa Y Max	38,394
97	Gempa Y Max	40,77	137	Gempa Y Max	39,582
98	Gempa Y Max	41,959	138	Gempa Y Max	40,77
103	Gempa Y Max	43,148	139	Gempa Y Max	41,959
1521	Gempa Y Max	43,82	140	Gempa Y Max	43,148
116	Gempa Y Max	43,366	1551	Gempa Y Max	37,919
1522	Gempa Y Max	43,82	1617	Gempa Y Max	37,919
$\delta_{avg}$	43,587				

*Point displacement* tersebut didapatkan akibat beban spektra arah-Y

Maka didapatkan analisis sebagai berikut:

$$1,2\delta_{avg} = 1,2 \times 43,587 = 52,304 \text{ mm}$$

$$\therefore \delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$$

$$43,82 < 52,304 \rightarrow \text{Tanpa Ketidakberaturan Torsi}$$

#### 4.4.3.6 Kontrol Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726-2012 Ps 7.8.7 pengaruh P-delta harus diperhitungkan pada bangunan dengan ketinggian lebih dari 40 m yaitu sebagai berikut :

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x H_{sx} C_d}$$

Dimana :

- $P_x$  = Beban vertikal total pada dan diatas tingkat-x (*kN*)  
 $\Delta$  = Simpangan antar lantai tingkat terjadi serentak  $V_x$  (*mm*)  
 $I_e$  = Faktor keutamaan gempa  
 $V_x$  = Gaya geser seismik bekerja antar tingkat x dan x-1 (*kN*)  
 $h_{sx}$  = Tinggi tingkat dibawah tingkat x, (*mm*)  
 $C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

Tabel 4. 39 Koefisien stabilitas tingkat

Lantai	Tinggi (mm)	P (kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	UX (mm)	UY (mm)
Lt. Atap	4200	8062,98	533,14	646,24	26,19	37,59
Lt. 13	3000	19001,06	1020,31	1212,74	25,23	35,99
Lt. 12	3000	29289,17	1416,02	1643,43	24,37	34,28
Lt. 11	3000	39577,29	1740,38	1977,75	23,24	32,35
Lt. 10	3000	49865,41	2003,56	2237,41	21,82	30,12
Lt. 9	3000	60153,53	2216,48	2437,59	20,15	27,58
Lt. 8	3000	70584,21	2401,26	2611,59	18,24	24,74
Lt. 7	3000	81014,90	2581,58	2791,95	16,18	21,75
Lt. 6	3000	91445,59	2760,00	2980,62	13,92	18,53
Lt. 5	3000	101876,27	2940,17	3187,04	11,47	15,09
Lt. 4	3000	112705,41	3124,02	3404,36	8,82	11,46
Lt. 3	3000	123534,55	3290,03	3592,60	6,38	7,88
Lt. 2	3000	134363,69	3427,11	3753,08	3,86	4,41
Lt. 1	3000	145188,41	3493,83	3829,98	1,45	1,47
Lt. Basement	0	0	0	0	0	0

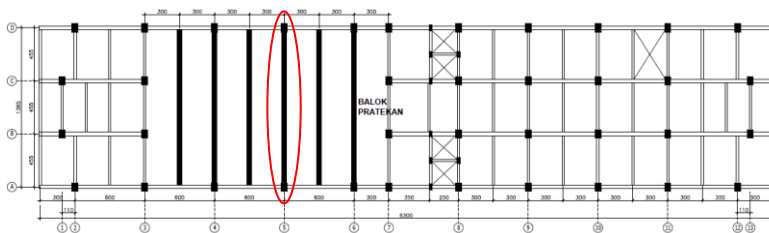
Tabel 4. 40 Koefisien stabilitas tingkat lanjutan

Lantai	Tinggi (mm)	$\Delta x$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\theta_x$	$\theta_y$
Lt. Atap	4200	5,29	8,83	0,0035	0,0048
Lt. 13	3000	4,70	9,37	0,0053	0,0089
Lt. 12	3000	6,23	10,64	0,0078	0,0115
Lt. 11	3000	7,79	12,26	0,0107	0,0149
Lt. 10	3000	9,21	13,98	0,0139	0,0189
Lt. 9	3000	10,51	15,61	0,0173	0,0234
Lt. 8	3000	11,30	16,46	0,0201	0,0270
Lt. 7	3000	12,42	17,70	0,0236	0,0311
Lt. 6	3000	13,51	18,92	0,0271	0,0352
Lt. 5	3000	14,58	19,97	0,0306	0,0387
Lt. 4	3000	13,41	19,68	0,0293	0,0395
Lt. 3	3000	13,85	19,09	0,0315	0,0398
Lt. 2	3000	13,27	16,19	0,0315	0,0351
Lt. 1	3000	7,96	8,06	0,0201	0,0185
Lt. Basement	0	0	0	0	0

Struktur Gedung Pavilion Permata Surabaya yang termasuk dalam kategori desain seismik D memiliki gaya geser seismik ( $V_x$ ) yang nilainya lebih kecil dari beban vertikal ( $P_x$ ) sehingga menghasilkan koefisien stabilitas ( $\theta$ ) yang kecil. Koefisien stabilitas  $< 0,1$  pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

#### 4.5 Desain Struktur Primer Pratekan

Balok pratekan yang direncanakan menggunakan sistem pascatarik atau *Post-tension*. Berikut letak balok pratekan :



Gambar 4. 28 Denah balok pratekan yang ditinjau

#### 4.5.1 Data Perencanaan

Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Dimensi Balok = 400/700 mm
- Bentang Balok = 1650 mm
- Tebal pelat = 120 mm
- $f'_c$  balok = 40 MPa
- $f'_c$  pelat = 30 MPa
- Selimut Beton = 40 mm
- Tul. Lentur = 22 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 Mpa
- Tul. Sengkang = 10 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 240 MPa

#### 4.5.2 Dimensi Balok Penampang T

Lebar efektif diambil terkecil dari :

$$b_{e1} = \frac{1}{4} \times L_x = \frac{1}{4} \times 13650 = 3412,5 \text{ mm}$$

$$b_{e2} = b_w + (8 \times t) = 400 + (8 \times 120) = 1360 \text{ mm}$$

$$b_{e3} = b_w + \left( \frac{1}{2} (l_{x1} + l_{x2}) \right) = 400 + \left( \frac{1}{2} (2600 + 2600) \right) = 3000 \text{ mm}$$

Dipakai  $b_e = 1360 \text{ mm}$

Sesuai SNI 2847-2013 Pasal. 8.5.1, maka nilai modulus elastisitas beton untuk pelat dan balok adalah sebagai berikut,

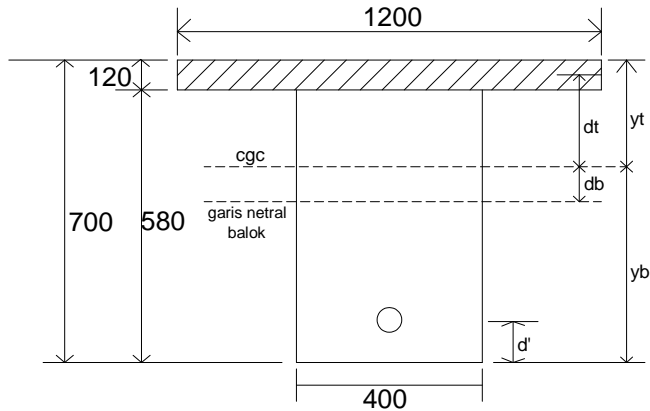
$$E_c \text{ balok} = 4700 \times \sqrt{40} = 29725,41 \text{ Mpa}$$

$$E_c \text{ pelat} = 4700 \times \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_c \text{ balok}}{E_c \text{ pelat}} = \frac{29725,41}{25742,96} = 1,155$$



$$b_e = \frac{1360}{1,155} = 1177.79 \text{ mm} \approx 1200 \text{ mm}$$



Gambar 4. 29 Penampang T balok pratekan  
Sehingga penampang balok pratekan adalah :

$$\begin{aligned} A_{pelat} &= 120 \times 1200 = 144000 \text{ mm}^2 \\ A_{balok} &= 400 \times 580 = \underline{232000 \text{ mm}^2} + \\ A_{total} &= 376000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Garis netral pada penampang balok pratekan :

$$y_t = \frac{\left[ \left( 144000 \times \frac{120}{2} \right) + (232000 \times (290 + 120)) \right]}{376000} = 275,96 \text{ mm}$$

$$y_b = 700 - y_t = 424,04 \text{ mm}$$

$$d_t = 275,96 - \frac{120}{2} = 215,96 \text{ mm}$$

$$d_b = 424,04 - \frac{580}{2} = 134,04 \text{ mm}$$

Nilai batasan letak kabel tendon yang dipasang sebagai daerah limit kabel. Tendon dipasang pada daerah beton mengalami tekan dimana daerah tersebut dibatasi oleh nilai dan wilayah kern pada penampang balok.

$$\begin{aligned}
 I_c &= \frac{1}{12}bh^3 + (A_{balok} \times d_b^2) + \frac{1}{12}b_e t^3 + A_{pelat} \times d_t^2 \\
 &= \frac{1}{12}40 \times 58^3 + (2320 \times 13,4^2) + \frac{1}{12}120 \times 12^3 + 1440 \times 21,59^2 \\
 &= 175607886524800 \text{ cm}^4 = 17560788652,48 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$W_t = \frac{I_c}{y_t} = \frac{17560788652,48}{275,96} = 63635857,11 \text{ mm}^3$$

$$W_b = \frac{I_c}{y_b} = \frac{17560788652,48}{424,04} = 41412798,13 \text{ mm}^3$$

$$K_t = \frac{W_b}{A_{total}} = \frac{41412798,13}{376000} = 110,14 \text{ mm}$$

$$K_b = \frac{W_t}{A_{total}} = \frac{63635857,11}{376000} = 169,24 \text{ mm}$$

Keterangan :  $K_T$  = Kern Atas  
 $K_B$  = Kern Bawah

#### 4.5.3 Tegangan Ijin

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton pada saat beton belum keras, maka digunakan kuat tekan beton pada umur 14 hari, dimana menurut *PBI'71 tabel 4.1.4* nilainya sebagai berikut,

$$f_{ci}' (\text{curing } 14 \text{ hari}) = 0,88 \times 40 = 35,2 \text{ MPa}$$

- Tegangan ijin beton sesaat sesudah penyaluran gaya pratekan (saat *jacking*) sesuai *SNI 2847-2013 Ps. 18.4.1*:

- Tegangan tekan :  $f_{ci} = 0,60 f_c'$   
 $f_{ci} = 0,60 \times 35,2 = 21,12 \text{ MPa}$
- Tegangan tarik :  $f_{ti} = \frac{1}{4} \sqrt{f_c'}$   
 $f_{ti} = \frac{1}{4} \sqrt{35,2} = 1,48 \text{ MPa}$
- Tegangan ijin beton sesaat sesudah kehilangan pratekan (saat beban bekerja) sesuai *SNI 2847-2013 Ps. 18.4.2*:
  - Tegangan tekan akibat pratekan ditambah beban total:  
 $f_c = 0,6 f_c'$   
 $f_c = 0,6 \times 40 = 24 \text{ MPa}$
  - Tegangan tarik sesuai *SNI 2847-2013 Ps. 18.3.3*  
 $f_c = 0,62 \sqrt{f_c'}$   
 $f_c = 0,62 \sqrt{40} = 3,92 \text{ MPa}$

#### 4.5.4 Analisa Gaya Pratekan

Beban-beban untuk desain balok pratekan terdiri dari berat sendiri balok, berat sendiri pelat ditambah komponen komponen yang berada di atas pelat. Beban hidup yang bekerja dihitung sebesar  $0,96 \text{ kN/m}^2$ .

$$q_{DL \text{ balok}} = 2400 \times 0,58 \times 0,4 = 556,80 \text{ kg/m}$$

$$q_{DL \text{ pelat}} = 2400 \times 0,12 \times 1,2 = 345,60 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total } q_{DL} = 556,80 + 345,60 = 902,4 \text{ kg/m}$$

Momen akibat beban mati :

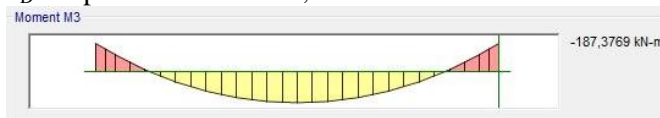
$$\begin{aligned} M_{\text{lumpuan}} &= \frac{1}{12} \times q \times l^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 902,4 \times 13,65^2 \\ &= 14011,45 \text{ kgm} = 140,11 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{lapangan}} &= \frac{1}{24} \times q \times l^2 \\
 &= \frac{1}{24} \times 902,4 \times 13,65^2 \\
 &= 7005,73 \text{ kgm} = 70,05 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Berikut data output gaya dalam pada balok pratekan dari program bantu analisis struktur ETABS yaitu gaya torsi, geser, momen tumpuan dan lapangan :

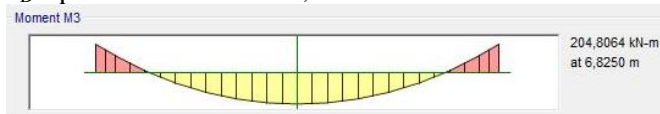
- Momen akibat beban sendiri :

$$M_D \text{ tump. max} = 187,38 \text{ kNm}$$



Gambar 4. 30  $M_D$  tumpuan balok pratekan

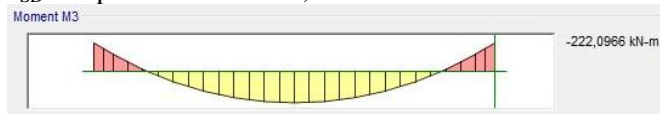
$$M_D \text{ lap. max} = 204,81 \text{ kNm}$$



Gambar 4. 31  $M_D$  lapangan balok pratekan

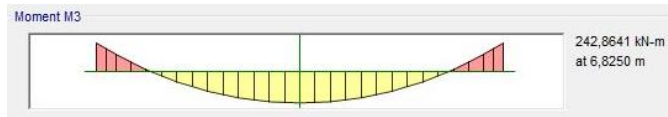
- Momen akibat beban sendiri dan tambahan :

$$M_{SD} \text{ tump. max} = 222,09 \text{ kNm}$$



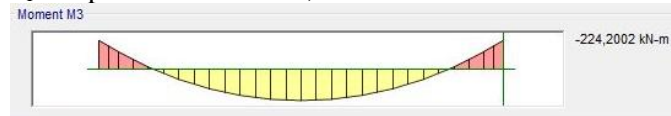
Gambar 4. 32  $M_{SD}$  tumpuan balok pratekan

$$M_{SD} \text{ lap. max} = 242,86 \text{ kNm}$$

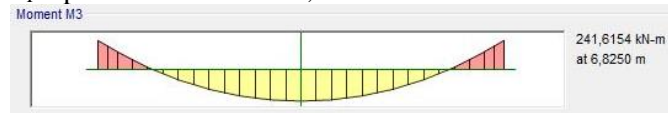
Gambar 4. 33  $M_{SD}$  lapangan balok pratekan

- Momen akibat beban mati dan hidup :

$$M_T \text{ tump. max} = 224,20 \text{ kNm}$$

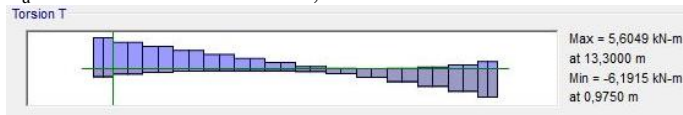
Gambar 4. 34  $M_T$  tumpuan balok pratekan

$$M_T \text{ lap. max} = 241,61 \text{ kNm}$$

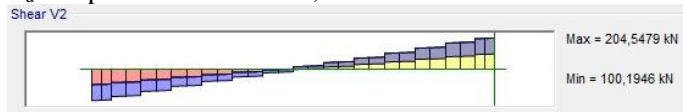
Gambar 4. 35  $M_T$  lapangan balok pratekan

- Kombinasi envelope :

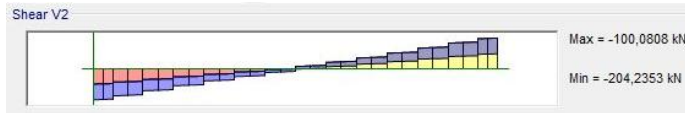
$$T_u = 6,19 \text{ kNm}$$

Gambar 4. 36  $T_u$  balok pratekan

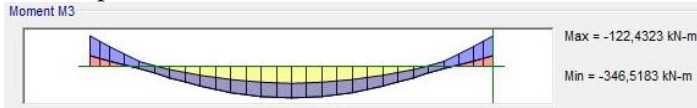
$$V_u \text{ tump. kanan} = 204,55 \text{ kNm}$$

Gambar 4. 37  $V_u$  tumpuan kanan balok pratekan

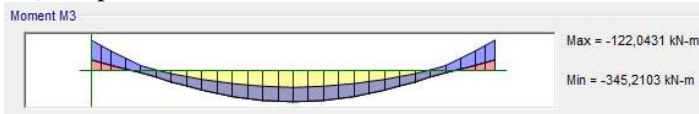
$$V_u \text{ tump. kiri} = 204,23 \text{ kNm}$$

Gambar 4. 38  $V_u$  tumpuan kiri balok pratekan

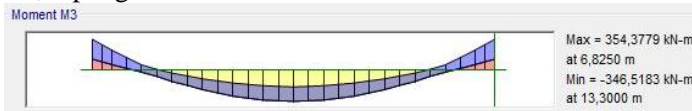
$$M_u \text{ tump. kanan} = 346,52 \text{ kNm}$$

Gambar 4. 39  $M_u$  tumpuan kanan balok pratekan

$$M_u \text{ tump. kiri} = 345,21 \text{ kNm}$$

Gambar 4. 40  $M_u$  tumpuan kiri balok pratekan

$$M_u \text{ lapangan} = 354,38 \text{ kNm}$$

Gambar 4. 41  $M_u$  lapangan balok pratekan

#### 4.5.5 Daerah Limit dan Gaya Awal Pratekan

Momen yang digunakan dipilih momen lapangan dengan kombinasi beban 1D + 1L sehingga didapat besar momen untuk desain pendahuluan sebesar 241,61 kNm .

$$F = \frac{M_T}{0,65h} = \frac{241,61}{0,65 \times 0,7} = 531,01 \text{ kN}$$

Di coba gaya sebesar :

$$F_o = 3100 \text{ kN}$$

$$F_{eff} = 2480 \text{ kN (asumsi } 80\% F_o)$$

Daerah limit kabel selain dibatasi oleh kern pada balok juga dibatasi oleh nilai  $a_{min}$  dan  $a_{max}$  yang didapat dari perhitungan berikut:

$$a_{max} = \frac{M_T}{F_{eff}} = \frac{241,61}{2480} = 0,09742 \text{ m} = 97,42 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \text{Senggang} + \left(\frac{1}{2} \phi_{lentur}\right) \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \left(\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm}\right) = 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

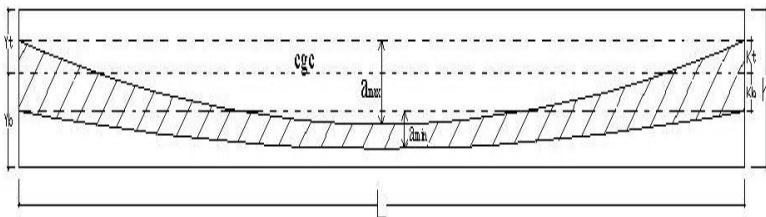
Syarat :

$$a_{max} \leq (y_b + k_t - d') = (424,04 + 110,14 - 61) = 473,18 \text{ mm}$$

$$97,42 \leq 473,18 \quad (\text{OK})$$

$$a_{min} = \frac{M_D}{F_o} = \frac{204,81}{3100} = 0,06607 \text{ m} = 66,07 \text{ mm}$$

Nilai perhitungan analisa diatas dapat dilihat pada gambar dibawah ini mengenai batasan daerah dimana letak kabel dapat atau boleh ditempatkan



Gambar 4. 42 Daerah limit tendon

Pemilihan letak tendon harus berada pada range daerah limit kabel sesuai gambar skema di atas:

$$a_{\max} - K_t < e_o \text{ lapangan} < K_B + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

dimana selisih syarat didapat dengan nilai:

$a_{\min}$  - (syarat  $a_{\min}$ ) dengan (syarat  $a_{\min} = y_b - K_b - d'$ ) agar terpenuhi syarat minimum decking sebesar 40 mm, jadi

$$\text{selisih syarat} : 66,07 - 424,04 + 169,24 + 61 = -127,73 \text{ mm}$$

sehingga,

$$a_{\max} - K_t < e_o \text{ lapangan} < K_b + a_{\min} - \text{selisih syarat}$$

$$97,42 - 110,14 < e_o \text{ lapangan} < 169,24 + 70,62 - (-127,73)$$

$$-12,72 \text{ mm} < 230 \text{ mm} < 367,59 \text{ mm}$$

$$e_o \text{ tumpuan} < K_t$$

$$e_o \text{ lapangan} = 230 \text{ mm (terletak di bawah cgc)}$$

$$e_o \text{ tumpuan} = 100 \text{ mm (atas cgc)}$$

### Kontrol tegangan pada saat transfer

- Serat Atas

$$f^t = -\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e}{W_t} - \frac{M_D}{W_t}$$

$$f^t = -\frac{3100000}{376000} + \frac{3100000 \times 230}{63635857,1} - \frac{204806400}{63635857,1}$$

$$f^t = -0,26 < -21,12 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

- Serat Bawah

$$f_b = -\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e}{W_b} + \frac{M_D}{W_b}$$

$$f_b = -\frac{3100000}{376000} - \frac{3100000 \times 230}{41412798,1} + \frac{204806400}{41412798,1}$$



$$f_b = -20,52 < -21,12 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

### Kontrol tegangan akhir pada kondisi beban layan

- Serat Atas

$$f^t = -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{W_t} - \frac{M_T}{W_t}$$

$$f^t = -\frac{2480000}{376000} + \frac{2480000 \times 230}{63635857,1} - \frac{241615400}{63635857,1}$$

$$f^t = -1,43 < -24 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

- Serat Bawah

$$f_b = -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_b} + \frac{M_T}{W_b}$$

$$f_b = -\frac{2480000}{376000} - \frac{2480000 \times 230}{41412798,8} + \frac{241615400}{41412798,8}$$

$$f_b = -14,53 < -24 \text{ Mpa} \quad (\text{OK})$$

### 4.5.6 Penentuan Jumlah Strand

Data-data strand kabel diambil dari tabel VSL sebagai berikut:

- Menggunakan data dari tabel prestressing strand – 7 wire, uncoated ASTM A416 untuk post tensioning
- Nominal diameter : 12,7 mm
- Luas nominal area kawat : 100,1 mm<sup>2</sup>
- Minimal breaking load : 184 kN

Pengunaan kabel strand untuk tendon pratekan :

$$f_{pu} = \frac{\text{minimum breaking load}}{A_s} = \frac{184000}{100,1} = 1838,162 \text{ MPa}$$

nilai  $f_{py}$  diambil  $0,9 f_{pu}$  untuk tendon *low relaxation* strand

$$f_{py} = 0,9 f_{pu} = 0,9 \times 1838,16 = 1654,34 \text{ MPa}$$

Didapat tegangan ijin tendon :

$$0,94 f_{py} = 0,94 \times 1654,34 = 1555,08 \text{ MPa}$$

$$0,80 f_{pu} = 0,80 \times 1838,162 = 1470,53 \text{ MPa}$$

$$0,70 f_{pu} = 0,70 \times 1838,162 = 1286,71 \text{ MPa}$$

Diambil nilai terkecil diantara ketiganya yaitu  $1286,71 \text{ MPa} = f_{st}$

Dengan nilai tegangan ijin tendon yang didapat, dapat dihitung jumlah luasan strand yang dibutuhkan untuk menghasilkan gaya prategang  $F = 300000 \text{ N}$  yang diinginkan.

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{st}} = \frac{3100000}{1286,71} = 2409,24 \text{ mm}^2$$

Jumlah Strand :

$$n = \frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{2409,24}{100,1} = 24,06 \approx 25 \text{ buah}$$

Jadi, dipasang *strand* berjumlah 25 buah, dengan tendon satu buah.

#### 4.5.7 Perhitungan Kehilangan Pratekan

Gaya pratekan yang telah dikurangi oleh reduksi akibat kehilangan pratekan disebut sebagai gaya pratekan efektif. Berikut perhitungan kehilangan pratekan :

##### 4.5.7.1 Kehilangan Pratekan Langsung

###### 1. Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis

Di balok pascatarik, kehilangan akibat perpendekan elastis bervariasi dari nol jika semua tendon didongkrak secara simultan, hingga setengah dari nilai yang dihitung pada kasus pratarik dengan beberapa pendongkrak sekuensial digunakan, seperti pendongkrakan dua tendon sekaligus. Karena hanya ada satu tendon dan didongkrak ditarik secara simultan, maka perpendekan elastis akan berpresipitasi selama pendongkrakan. Dengan demikian, tidak terjadi kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis ditendon. Jadi,  $\Delta f_{pES} = 0$

Persentase kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis :

$$\% = \frac{0}{1286713} \times 100\% = 0 \%$$

## 2. Kehilangan Akibat gesekan dan Wobble Effect

Besarnya nilai kehilangan tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$F_2 = F_1 \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

Atau jika dinyatakan dengan tegangan :

$$f_2 = f_1 \times e^{-((\mu \times \alpha) + (K \times L))}$$

$$\Delta f_{pF} = f_1 - f_2 = f_1(1 - e^{-(\mu\alpha + KL)})$$

Nilai sudut kelengkungan dengan asumsi bahwa tendon parabolik mendekati bentuk busur lingkaran didapat dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{8f}{L} \text{ dengan } f \text{ adalah panjang fokus tendon (dari cgs)}$$

$$\alpha = \frac{8 \times 230}{13650} = 0,135 \text{ rad}$$

$$f_1 = \frac{P_i}{A_{ps}} = \frac{3100000}{2409,24} = 1286,713 \text{ MPa}$$

Sedangkan nilai K dan  $\mu$  didapat dari Tabel 4 SNI 2847-2013 tentang friksi dan *woble effect*, untuk kawat strand dengan untai 7 kawat didapat nilai K = 0,0016-0,0066 diambil K = 0,0016/m dan  $\mu = 0,15$ -0,25 diambil  $\mu = 0,15$ . Sehingga nilai kehilangan akibat friksi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta f_{pF} &= f_1 \left(1 - e^{-\mu\alpha + KL}\right) \\ \Delta f_{pF} &= 1286,713 \times \left(1 - e^{-((0,15 \times 0,135) + (0,0016 \times 13,65))}\right) \\ &= 52,99 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Persentase kehilangan prategang akibat gesekan dan *wobble effect* adalah :

$$\% = \frac{52,99}{1286,713} \times 100 = 4,12 \%$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategangan akibat wobble efek adalah sebesar 52,99 MPa.

### 3. Kehilangan Akibat Slip Angkur

Besarnya nilai kehilangan prategang akibat slip angkur dapat dihitung dengan perumusan berikut:

$$\begin{aligned}\Delta f_{pA} &= 2f_{st} \times \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right) \times x \\ X &= \sqrt{\frac{E_{ps} \times g}{f_{pi} \left( \frac{\mu \times \alpha}{L} + K \right)}} < \frac{L}{2}\end{aligned}$$

Dimana :

$E_{ps}$  = modulus elastisitas baja prategang = 200000 MPa

$g$  = diasumsikan  $0,08 \text{ cm} = 0,8 \text{ mm}$

Dari perhitungan sebelumnya didapat  $f_{pi} = f_{st} = 1286,713 \text{ MPa}$

Maka didapat nilai  $X$  sebesar :

$$X = \sqrt{\frac{200000 \times 0,8}{1286,713 \left( \frac{0,15 \times 0,135}{13650} + 0,0000016 \right)}} < \frac{13650}{2}$$

$$= 6352,61 \text{ mm} < 6825 \text{ mm}$$

Karena pengaruh tegangan belum mencapai tengah bentang, maka kehilangan tegangan tidak terjadi pada tengah bentang. Sehingga,

$$\Delta f_{pA} = 0$$

Persentase kehilangan prategang akibat slip angkur adalah :

$$\% = \frac{0}{1286,713} \times 100\% = 0\%$$

#### 4. Kehilangan Akibat Kekangan Kolom

Perhitungan kehilangan pratekan akibat kekangan kolom di pengaruhi beberapa beban yang terjadi pada balok prategang sebagai berikut :

- Perhitungan distribusi momen akibat beban perpendekan elastis  $1 \text{ cm}$ .

$$k = \frac{K_b}{K_k} = \frac{l_k \times I_b}{l_b \times I_k}$$

Dimana :

$l_k$  = tinggi kolom

$l_b$  = bentang balok prategang

$I_b$  = momen inersia dari balok

$I_k$  = momen inersia dari kolom

$$k = \frac{K_b}{K_k} = \frac{4200 \times 1756078862}{13650 \times 1429166667} = 0,378$$



Gambar 4. 43 Perpendekan kolom

- Perhitungan momen akibat perpendekan kolom  
 $\varepsilon_{BB} = \Delta l / l$  yang diakibatkan perpendekan, susut dan rangkak dari permodelan struktur ETABS.

$$\varepsilon_{BB} = \frac{0,188 - 0,012}{4200} = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_A &= \frac{3 \times (k + 1)}{k \times (k + 2)} \times \frac{Ec \times I_b}{l_k} \times \varepsilon_{BB'} \\ &= \frac{3 \times (0,378 + 1)}{0,378 \times (0,378 + 2)} \times \frac{29725,4 \times 1756078862}{4200} \times 4,2 \times 10^{-5} \\ &= 23948411,96 \text{ Nmm} = 23,95 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_B &= \frac{3}{(k + 2)} \times \frac{Ec \times I_b}{l_k} \times \varepsilon_{BB'} \\ &= \frac{3}{(0,378 + 2)} \times \frac{29725,4 \times 1756078862}{4200} \times 4,2 \times 10^{-5} \\ &= 6570246 \text{ Nmm} = 6,57 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Perhitungan distribusi momen akibat beban merata

$$q_{DL \text{ balok}} = 2400 \times 0,58 \times 0,4 = 556,80 \text{ kg/m}$$

$$q_{DL \text{ pelat}} = 2400 \times 0,12 \times 1,36 = 391,68 \text{ kg/m}$$

$$\text{Total } q_{DL} = 556,80 + 391,68 = 948,48 \text{ kg/m} = 9,48 \text{ N/mm}$$

$$M_A = \frac{1}{(k+2)} \times \frac{W \times l_b^2}{12} = \frac{1}{(0,378+2)} \times \frac{9,48 \times 13650^2}{12}$$

$$= 61927951,78 \text{ Nmm} = 61,93 \text{ kNm}$$

$$M_B = \frac{-2}{(k+2)} \times \frac{W \times l_b^2}{12} = \frac{-2}{(0,378+2)} \times \frac{9,48 \times 13650^2}{12}$$

$$= -123855903,55 \text{ Nmm} = -123,86 \text{ kNm}$$

- Perhitungan distribusi momen akibat eksentrisitas

$$M_p = F_o \times e$$

$$M_p = 3100 \times 0,23 = 712,99 \text{ kNm}$$

$$M_A = \frac{1}{(k+2)} \times M_p = \frac{1}{(0,378+2)} \times 712,99$$

$$= 299,82 \text{ kNm}$$

$$M_B = -2 \times M_A = -2 \times 299,82$$

$$= -599,64 \text{ kNm}$$

- Perhitungan kehilangan prategang total akibat kekangan kolom,

- Akibat perpendekan kolom

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{l_b} = \frac{23,95 - 6,57}{13,65} = 1,273 \text{ kN}$$

- Akibat beban merata

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{l_b} = \frac{61,93 - (-123,86)}{13,65} = 13,611 \text{ kN}$$

- Akibat eksentrisitas

$$\Delta P = \frac{M_A - M_B}{l_b} = \frac{299,82 - (-599,64)}{13,65} = 65,896 \text{ kN}$$

$$\Delta f_{PR} = \frac{1273 + 13611 + 65896}{22538} = 33,53 \text{ MPa}$$

Total kehilangan akibat proses kehilangan langsung

$$\begin{aligned}\Delta f_H &= \Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pA} + \Delta f_{pR} \\ \Delta f_H &= 0 \text{ MPa} + 52,99 \text{ MPa} + 0 \text{ MPa} + 33,53 \text{ MPa} \\ &= 86,52 \text{ MPa (total kehilangan} = 6,72 \text{ \%)}\end{aligned}$$

#### 4.5.7.2 Kehilangan Tidak Pratekan Langsung

Kehilangan pratekan tidak langsung yang dihitung pada subbab ini dengan beberapa tahapan. Tahap pertama dihitung pada waktu sesaat setelah penyaluran gaya prategang yang mana pada perancangan ini diasumsikan terjadi 18 jam setelah penarikan *strand*, tahap kedua dihitung pada waktu 30 hari pada saat beban mati tambahan dan beban hidup mulai bekerja (*topping* beton diletakan), tahap terakhir dihitung saat dua tahun sesudah *topping* beton diletakan. perhitungan dapat dilihat pada tiap tiap tahapan sebagai berikut:

#### TAHAP I

Pada tahapan ini karena sesaat setelah penyaluran gaya prategang maka kehilangan akibat susut dan rangkak sangat kecil sehingga cenderung diabaikan jadi kehilangan akibat susut dan rangkak pada tahap sesaat setelah penyaluran gaya prategang adalah nol.

- Akibat Relaksasi Baja

Diketahui dari pehitungan sebelumnya nilai gaya prategang, luas strand dan kuat leleh tendon prategang adalah:

$$f_{pi} = 0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1838462 = 1286,713 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,9 f_{pu} = 0,9 \times 1838462 = 1654,345 \text{ MPa}$$



sehingga didapat nilai  $\frac{f_{pi}}{f_{py}}$  sebagai berikut:

$$\frac{f_{pi}}{f_{py}} = \frac{1286,713}{1654,345} = 0,77 > 0,55 \rightarrow \text{terjadi relaksasi baja (kehilangan}$$

akibat relaksasi baja diperhitungkan). Nilai besarnya tegangan yang hilang akibat relaksasi baja sebesar:

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left( \frac{\log t_2 - \log t_1}{45} \right) \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

Diasumsikan transfer pratekan terjadi setelah 18 jam sesudah penarikan strand dan untuk baja relaksasi rendah, penyebut di dalam suku log dalam persamaan tersebut dibagi dengan 45, sehingga diperoleh nilai:

$$\Delta f_{pR} = 1200,19 \left( \frac{\log 18}{45} \right) \left( \frac{1286,713}{1654,345} - 0,55 \right) = 7,62 \text{ Mpa}$$

Total kehilangan prategang

$$\begin{aligned} f_{pT} &= \Delta f_{pA} + \Delta f_{pR} + \Delta f_{fcR} + \Delta f_{pSH} \\ &= 0 + 7,62 + 0 + 0 \\ &= 7,62 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang pada tahap I adalah sebesar 7,62 MPa.

Jadi tegangan *strand* di akhir Tahap I adalah :

$$f_{pe} = f_i - f_{pT} = 1200,19 - 7,62 = 1192,56 \text{ MPa}$$

## **TAHAP II**

Tahap dua terjadi dari rentang waktu sesaat setelah gaya penyaluran prategang diberikan hingga beban mati tambahan dan beban hidup bekerja (30 hari = 720 jam).

- Akibat Relaksasi Baja

Diketahui dari perhitungan sebelumnya nilai gaya prategang yang tersisa setelah kehilangan langsung, luas strand dan tegangan setelah kehilangan berturut turut adalah:

$$f_{ps} = \bar{f}_i - f_{pT} = 1192,56 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 0,9f_{pu} = 0,9 \times 1838,462 = 1654,345 \text{ MPa}$$

sehingga didapat nilai  $\frac{f_{ps}}{f_{py}}$  sebagai berikut:

$$\frac{f_{ps}}{f_{py}} = \frac{1192,56}{1654,345} = 0,72 > 0,55 \rightarrow \text{terjadi relaksasi baja (kehilangan}$$

akibat relaksasi baja diperhitungkan). Nilai besarnya tegangan yang hilang akibat relaksasi baja sebesar:

$$\Delta f_{pR} = 1192,56 \left( \frac{\log 720 - \log 18}{45} \right) \left( \frac{1192,56}{1654,345} - 0,55 \right) = 7,25 \text{ MPa}$$

- Akibat Susut

Luas penampang :

$$S_1 = 2 \times b_e \times L_b = 2 \times 1200 \times 13650 = 32760000 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 2 \times h_b \times L_b = 2 \times 700 \times 13650 = 1911000 \text{ mm}^2$$

Volume penampang :

$$\begin{aligned} V &= (t_p \times b_e + h_b \times b_b) \times L_b \\ &= (120 \times 1200 + 580 \times 400) \times 13650 \\ &= 5132400000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$K_{sh} = 0,58$$

$$E_{ps} = 200000 \text{ Mpa}$$

$$RH = 80\%$$

Maka nilai  $\frac{V}{S} = \frac{5132400000}{51870000} = 98,95$

Sehingga didapat nilai susut sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta f_{pSH} &= 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_{ps} \left( 1 - 0,0236 \frac{V}{S} \right) \times (100 - RH) \\ &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,58 \times 200000 \times (1 - (0,0236 \times 98,95)) \times (100 - 80) \\ &= 25,40 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Akibat Rangkak

Nilai ratio modulus sebesar:

$$n = \frac{E_{ps}}{E_c} = \frac{200000}{29725,41} = 6,73$$

Nilai  $f_{cir}$  merupakan besarnya tegangan akibat berat sendiri sesaat setelah gaya jacking.  $f_{cir}$  didapat dengan perumusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}f_{cir} &= \left( \frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i \times e^2}{I_c} \right) - \frac{M_D \times e}{I_c} \\ f_{cir} &= \left( \frac{300347055}{376000} + \frac{300347055 \times 230^2}{1756078862} \right) - \frac{204806400 \times 230}{1756078862} \\ &= 14,35 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Data data lainnya diambil sebagai berikut:

Luas Penampang ( $A$ ) =  $3760 \text{ cm}^2$

Eksentrisitas tengah bentang dari cgc =  $250 \text{ cm}$

$I_c = 17560788652 \text{ cm}^4$

Akibat bebat mati sendiri dan tambahan ( $f_{csd}$ ) didapat dari program ETABS

$$f_{csd} = \frac{M_{SD} \times e}{I} = \frac{242864100 \times 250}{1756078862} = 3,18 \text{ MPa}$$

sehingga didapat nilai rangkai sebagai berikut :

$$\Delta f_{pCr} = nK_{CR}(f_{cir} - f_{csd})$$

$$\Delta f_{pCr} = 6,73 \times 1,6 \times (14,35 - 3,18) = 120,27 \text{ MPa}$$

#### Total kehilangan pratekan

$$f_{pT} = \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCr} + \Delta f_{pSH}$$

$$= 7,25 + 120,27 + 25,4$$

$$= 152,93 \text{ MPa}$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang pada tahap II adalah sebesar 152,93 MPa.

Peningkatan tegangan di *strand* akibat penambahan *topping* adalah :

$$f_{SD} = n f_{csd} = 6,73 \times 3,18 = 21,40 \text{ MPa}$$

Jadi tegangan *strand* di akhir Tahap II adalah :

$$f_{pe} = f_{ps} - \Delta f_{pT} + f_{SD}$$

$$= 1192,56 - 152,93 + 21,40 = 1061,04 \text{ MPa}$$

### TAHAP III

Tahap tiga terjadi dari rentang waktu 30 hari sampai 2 tahun saat semua beban telah bekerja (2 tahun = 730 hari)

- Akibat Relaksasi Baja

Diketahui dari perhitungan sebelumnya nilai gaya prategang yang tersisa setelah kehilangan langsung, luas *strand* dan tegangan setelah kehilangan berturut turut adalah:

$$f_{pe} = 1061,04 \text{ MPa}$$

Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja adalah :

$$\Delta f_{pR} = 1061,04 \left( \frac{\log 17280 - \log 720}{45} \right) \left( \frac{1061,04}{165435} - 0,55 \right) = 2,97 \text{ MPa}$$

Total kehilangan prategang

$$f_{pT} = \Delta f_{pR} = 2,97 \text{ MPa}$$

Jadi jumlah besarnya kehilangan prategang pada tahap III adalah sebesar 3,02 MPa.

Rekapitulasi kehilangan tegangan

Sesudah penarikan ( $0,7 \cdot f_{pu}$ )	= 1286,713	MPa
Kehilangan akibat perpendskan elastis	= 0	MPa
Kehilangan akibat angker	= 0	MPa
Kehilangan akibat wobble effect	= 53	MPa
Kehilangan akibat kekangan kolom	= 33,53	MPa
Kehilangan akibat rangkai	= 120,27	MPa
Kehilangan akibat susut	= 25,40	MPa
Kehilangan akibat relaksasi baja	= 17,85	MPa
Pertambahan karena topping	= 21,40	MPa
Tegangan netto akhir ( $f_{pe}$ )	= 1058,06	MPa
	= 82,23 %	

#### 4.5.8 Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan

Tegangan efektif yang terjadi :

Tegangan baja = 1058,06 MPa

$$F_{eff} = 1058,06 \times 25 \times 100,1 = 2647805,94 \text{ N}$$

Kontrol tegangan pada daerah lapangan tegangan yang terjadi adalah:

- Serat Atas

$$f^t = -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{W_t} - \frac{M_T}{W_t}$$

$$f^t = -\frac{2647805,94}{376000} + \frac{2647805,94 \times 230}{6363585711} - \frac{241615400}{6363585711}$$

$$f^t = -1,27 < -24 \text{ MPa} \quad (OK)$$

- Serat Bawah

$$f^b = -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_b} + \frac{M_T}{W_b}$$

$$f^b = -\frac{2647805,94}{376000} - \frac{2647805,94 \times 230}{4141279813} + \frac{241615400}{4141279813}$$

$$f^b = -15,91 < -24 \text{ MPa} \quad (OK)$$

Kontrol tegangan pada daerah tumpuan tegangan yang terjadi adalah:

- Serat Atas

$$f^t = -\frac{F_{eff}}{A} + \frac{F_{eff} \times e}{W_t} - \frac{M_T}{W_t}$$

$$f^t = -\frac{2647805,94}{376000} + \frac{2647805,94 \times 100}{6363585711} - \frac{2244200200}{6363585711}$$

$$f^t = -7,68 < -24 \text{ MPa} \quad (OK)$$

- Serat Bawah

$$f^b = -\frac{F_{eff}}{A} - \frac{F_{eff} \times e}{W_b} + \frac{M_T}{W_b}$$

$$f^b = -\frac{2647805,94}{376000} - \frac{2647805,94 \times 100}{4141279813} + \frac{224200200}{4141279813}$$

$$f^b = -6,06 < -24 \text{ MPa} \quad (OK)$$

#### 4.5.9 Kontrol Lendutan

Lendutan ijin pada komponen beton prategang harus memenuhi syarat Tabel 3 SNI 2847-2013 pasal 5.2.7 yaitu lendutan untuk konstruksi yang menahan atau yang disatukan oleh komponen non struktural sebesar:

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{480} = \frac{13650}{480} = 28,4 \text{ mm}$$

##### Lendutan Awal Saat Jacking

Pada saat awal transfer gaya prategang nilai lendutan yang terjadi adalah sebagai berikut:

- Lendutan Akibat Tekanan Tendon

Tekanan tendon menyebabkan balok tertekuk keatas sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke arah atas. Sedangkan syarat ijin lendutan mengarah ke bawah, sehingga lendutan akibat tendon dapat melawan lendutan kebawah yang diakibatkan oleh beban dan berat sendiri.

$$\Delta l_{PO} = \frac{5}{384} \times \frac{P_o \times l^4}{E_c \times I}$$

dengan nilai P sebesar

$$P_o = \frac{8 \times F_o \times f}{l^2}$$

$$P_o = \frac{8 \times 3100000 \times 230}{13650^2} = 30,61 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta l_{PO} &= \frac{5}{384} \times \frac{30,61 \times 13650^4}{29725,4 \times \left( \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 \right)} \\ &= 40,72 \text{ mm } (\uparrow) \end{aligned}$$

- Lendutan Akibat Eksentrisitas Tepi Balok

Eksentrisitas tepi balok terhadap cgc pada letak tendon menyebabkan lendutan ke arah bawah (karena menyebabkan momen negatif). Besarnya lendutan ini dipengaruhi oleh momen akibat gaya dan eksentrisitas tepi balok terhadap cgc. Besarnya nilai lendutan yang diakibatkan oleh eksentrisitas adalah:

$$\Delta I_{me} = \frac{F_o \times e \times l^2}{8E_c \times I}$$

$$\Delta I_{me} = \frac{3100000 \times 100 \times 13650^2}{8 \times 29725,4 \times \left( \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 \right)}$$

$$= 21,24 \text{ mm } (\downarrow)$$

- Lendutan Akibat Berat Sendiri

Berat sendiri balok menyebabkan balok tertekuk ke bawah sehingga lendutan yang terjadi berupa lendutan ke bawah. Besarnya lendutan ke bawah akibat berat sendiri adalah:

$$\Delta I_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{q_o \times l^4}{E_c \times I}$$

$$\Delta I_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{9,48 \times 13650^4}{29725,4 \times \left( \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 \right)}$$

$$= 12,61 \text{ mm } (\downarrow)$$

Total lendutan pada saat awal transfer gaya prategang sebesar (dengan mengasumsikan tanda (-) adalah lendutan ke atas karena berlawanan arah dengan arah terjadinya lendutan):

$$\Delta I_A = \Delta I_{PO} + \Delta I_{qO} + \Delta I_{me}$$

$$= -40,72 + 21,24 + 12,62 = -8,91 \text{ mm } (\uparrow)$$



Lendutan arah ke bawah belum terjadi

### Lendutan Saat Beban Bekerja

Saat beban bekerja sepenuhnya bekerja gaya prategang yang terjadi berupa gaya prategang efektif setelah terjadi berbagai tahap dan macam kehilangan. Lendutan yang terjadi antara lain:

- Lendutan Akibat Tekanan Tendon ( $F_{\text{efektif}}$ )

$$p_o = \frac{8 \times F_{\text{eff}} \times f}{l^2}$$

$$p_o = \frac{8 \times 2647805,94 \times 230}{13650^2} = 26,15 \text{ N/mm}$$

$$\Delta l_{po} = \frac{5}{384} \times \frac{26,15 \times 13650^4}{29725,4 \times \left( \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 \right)}$$

$$= 34,78 \text{ mm } (\uparrow)$$

- Lendutan Akibat Eksentrisitas tepi balok

$$\Delta l_{me} = \frac{F_{\text{eff}} \times e \times l^2}{8E_C \times I}$$

$$\Delta l_{me} = \frac{2647805,94 \times 100 \times 13650^2}{8 \times 29725,4 \times \left( \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 \right)}$$

$$= 18,14 \text{ mm } (\downarrow)$$

- Lendutan Akibat berat sendiri balok, pelat dan beban tambahan

$$\Delta l_{qo} = \frac{5}{384} \times \frac{16,85 \times 13650^4}{29725,4 \times \left( \frac{1}{12} \times 400 \times 700^3 \right)}$$

$$= 22,41 \text{ mm } (\downarrow)$$

#### Lendutan Total

Total lendutan pada saat beban telah bekerja dengan gaya prategang efektif (dengan mengasumsikan tanda (-) adalah lendutan ke atas karena berlawanan arah dengan arah terjadinya lendutan) sebesar:

$$\begin{aligned}\Delta l_A &= \Delta l_{PO} + \Delta l_{qO} + \Delta l_{me} \\ &= -34,78 + 18,14 + 22,41 = 5,77 \text{ mm } (\downarrow) < \text{Lendutan ijin} \\ &= 5,77 \text{ mm} < 28,4 \text{ mm} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

#### **4.5.10 Perhitungan Momen Retak**

Serat bawah mengalami Tarik (pada daerah lapangan) maka :

$$\begin{aligned}M_{cr} &= \left( \frac{F_e}{A} \times \frac{I}{y_b} \right) + \left( \frac{F_e \times e \times y_b}{I} \times \frac{I}{y_b} \right) + \left( fr \times \frac{I}{y_b} \right) \\ &= (F_e \times k_t) + (F_e \times e) + (fr \times W_b) \\ &= (2647805,94 \times 110,14) + (2647805,94 \times 230) + (3,9 \times 414127981) \\ &= 1063,30 \text{ kNm}\end{aligned}$$

#### **4.5.11 Perhitungan Tulangan Lentur**

Penulangan lunak tambahan diperlukan pada bagian tumpuan balok untuk menerima beban gempa yang terjadi dan pada daerah lapangan untuk menerima berat sendiri saat balok masih belum ditarik.

Tinggi Manfaat Rencana :

- $d = h - \text{decking} - \text{Sengkang} - (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}})$   
 $= 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm})$   
 $= 639 \text{ mm}$
- $d' = \text{decking} + \text{Sengkang} + (\frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}})$   
 $= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 22 \text{ mm}) = 61 \text{ mm}$

### Rasio Tulangan.

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,05\left(\frac{f'_c - 28}{7}\right) \\ &= 0,85 - 0,05\left(\frac{40 - 28}{7}\right) = 0,764\end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} = \frac{\sqrt{40}}{4 \times 420} = 0,00376$$

$$\begin{aligned}\rho_{balance} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,764 \times 40}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} = 0,0364\end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance} = 0,75 \times 0,0364 = 0,0273$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 40} = 12,35$$

### Penulangan Daerah Tumpuan

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan yaitu akibat kombinasi : Envelope

$$M_u = 346,52 \text{ kNm} = 346518300 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{346518300}{0,9} = 385020333,33 \text{ Nmm}$$

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 420} \times 639 = 375,88 \text{ mm}$$

$$X_{max} = 0,75 X_b$$

$$= 0,75 \times 375,88 = 281,91 \text{ mm}$$

$$X_{min} = d'$$

$$= 600-639$$

$$= 61 \text{ mm}$$

$$\text{Garis netral rencana , } X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 40 \times 400 \times 0,764 \times 100$$

$$= 1039428,57 \text{ N}$$

$$A_{sc} = \frac{C_c'}{f_y}$$

$$= \frac{103942857}{420}$$

$$= 2474,83 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot X}{2} \right)$$

$$= 2474,83 \times 420 \times \left( 639 - \frac{0,764 \times 100}{2} \right)$$

$$= 624473836,73 \text{ Nmm}$$

Kontro :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 385020333,33 \text{ Nmm} - 624473836,73 \text{ Nmm}$$

$$= -239453503,4 \text{ Nmm}$$

$M_{ns} < 0$  (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Desain Tulangan Lentur Tarik

$$M_{n_{perlu}} = 385020333,33 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{385020333,33}{400 \times 639^2} = 2,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12,35} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12,35 \cdot 2,36}{420}} \right]$$

$$= 0,0058$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0037 < 0,0058 < 0,0273$  (OK)

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (\rho_{\text{perlu}} \times b \times d)$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (0,0058 \times 400 \times 639)$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 1488,12 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan D22

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ tulangan pakai}}}$$

$$n = \frac{1488,12 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$$n = 6 \text{ buah}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \cdot \text{tulangan}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 6$$

$$= 2280,79 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$2280,79 \text{ mm}^2 \geq 1488,12 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, dipakai tulangan tarik 6D22

Desain Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{2} \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

Tulangan lentur tarik 6D22

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n. \text{tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 6 \\ &= 2280,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ perlu} &= \frac{1}{2} \times 2280,79 \\ &= 1140,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan D22

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}} \\ n &= \frac{1140,39 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)} \end{aligned}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n. \text{tulangan} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 4 \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \geq 1140,39 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Jadi, dipakai tulangan tekan 3D19

Kontrol Jarak Spasi Tulangan :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\ S_{\text{maks}} &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 22)}{6-1} \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 33,6 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$33,6 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 70,67 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$70,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Cek momen nominal penampang

$$a = \left( \frac{A_s \text{ tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(2280,79 \times 420)}{0,85 \times 40 \times 400} \right)$$

$$a = 70,44 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 40 \times 400 \times 70,44 \\ &= 957934,43 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{pasang}} &= C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 957934,43 \times \left( 639 - \frac{70,44}{2} \right) \\ &= 583443902,76 \text{ Nmm} = 583,44 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} M_{n_{pasang}} &\geq M_{n_{perlu}} \\ 583,44 \text{ kNm} &\geq 385,02 \text{ kNm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan dipakai tulangan :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 6 \text{ D22}$$

Tulangan tekan serat bawah = 4 D22

### **Penulangan Lapangan**

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan yaitu akibat kombinasi : Envelope

$$M_u = 354,38 \text{ kNm} = 354377900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{354377900}{0,9} = 393753222,22 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d = \frac{600}{600 + 420} \times 639 = 375,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 X_b \\ &= 0,75 \times 375,88 = 281,91 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 600 - 639 \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana,  $X_{rencana} = 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 40 \times 400 \times 0,764 \times 100 \\ &= 1039428,57 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{C_c'}{f_y} \\ &= \frac{1039428,57}{420} \\ &= 2474,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \cdot X}{2} \right)$$



$$= 2474,83 \times 420 \times \left( 639 - \frac{0,764 \times 100}{2} \right)$$

$$= 624473836,73 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur.

Kontrol :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 393753222,22 \text{ Nmm} - 624473836,73 \text{ Nmm}$$

$$= -230720614,5 \text{ Nmm}$$

$M_{ns} < 0$  (tidak perlu tulangan lentur tekan)

#### Desain Tulangan Lentur Tarik

$$M_{n_{\text{perlu}}} = 393753222,22 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{393753222,22}{400 \times 639^2} = 2,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{12,35} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 12,35 \cdot 2,41}{420}} \right]$$

$$= 0,0059$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0037 < 0,0059 < 0,0273 \quad (\text{OK})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (\rho_{\text{perlu}} \times b \times d)$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (0,0059 \times 400 \times 639)$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 1523,21 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan pakai D22

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_s \text{ tulangan pakai}}$$

$$n = \frac{1523,21 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)}$$

$$n = 5 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.tulangan \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 5 \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\ 1900,66 \text{ mm}^2 &\geq 1523,21 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan 5D22

#### Desain Tulangan Lentur Tekan

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur lapangan (+)(-) } \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur terbesar}$$

Tulangan lentur tarik 6D22

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.tulangan \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 6 \\ &= 2280,79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ perlu}} &= \frac{1}{4} \times 2280,79 \\ &= 570,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai sisi bawah direncanakan tulangan pakai D22

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s'}}{A_{s \text{ tulangan pakai}}} \\ &= \frac{570,19 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (22^2)} \end{aligned}$$

$$n = 3 \text{ buah}$$

Maka dipakai tulangan 3D22

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.tulangan \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times (22^2) \times 3 \\
 &= 1140,39 \text{ mm}^2 \geq 475,16 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

### Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\
 S_{maks} &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5-1}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 47,5 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$47,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

### Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{lentur})}{n-1} \\
 S_{maks} &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3-1}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 117 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$117 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

### Cek momen nominal penampang

$$a = \left( \frac{A_s \text{ tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(1900,66 \times 420)}{0,85 \times 40 \times 400} \right)$$

$$a = 58,70 \text{ mm}$$

$$C_{c'} = 0,85 \times f_c' \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 40 \times 400 \times 58,70$$

$$\begin{aligned}
 &= 798278,69 \text{ N} \\
 M_{n_{\text{pasang}}} &= Cc' \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 798278,69 \times \left(639 - \frac{58,70}{2}\right) \\
 &= 490186057,75 \text{ Nmm} = 490,186 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{pasang}}} &\geq M_{n_{\text{perlu}}} \\
 490,186 \text{ kNm} &\geq 393,75 \text{ kNm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan dipakai tulangan :

Tulangan tarik serat atas = 5 D22

Tulangan tekan serat bawah = 3 D22

#### 4.5.12 Perhitungan Tulangan Geser

Besarnya gaya yang mengakibatkan retak geser badan dekat tumpuan dan retak lentur geser miring dekat tengah bentang dalam SNI 2847-2013 ps 11.3.3.1 dan 11.3.3.2 dengan syarat batas spasi sesuai pasal 11.4.5

#### Kuat Geser yang Disumbangkan Beton

Untuk komponen balok prategang nilai  $\phi V_c$  diambil nilai terkecil antara  $V_{ci}$  dan  $V_{cw}$  sesuai SNI 2847-2013 pasal 11.3.3

1. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser ( $V_{ci}$ )

$$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f'_c}b_w \cdot d_p + V_d + \frac{V_i \times M_{cre}}{M_{\max}}, \text{ dengan}$$

$$M_{cre} = \left(\frac{I}{Y_T}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{2} + f_{pe} - f_d\right)$$

2. Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang ( $V_{cw}$ )

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc}) \times b_w \times d_p + V_p$$

**Kuat geser Daerah Tumpuan**

$$x = \text{diambil } 0,5 \times b_{\text{kolom}} = 0,5 \times 700 = 350 \text{ mm}$$

$$p' = \frac{8 \times F_0 \times f}{l^2} = \frac{8 \times 3100000 \times 230}{13650^2} = 30,61 \text{ N/mm}$$

$$V_p' = \frac{l}{2} \times p' = \frac{13650}{2} \times 30,61 = 208937 \text{ N}$$

- Kuat Geser Badan ( $V_{cw}$ )

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc}) \times b_w \times d_p + V_p$$

Dimana:

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{pc} = \frac{F_o}{A_c} = \frac{3100000}{376000} = 8,24 \text{ N/mm}^2$$

$$d_p = h - d' = 700 - 61 = 639$$

$$V_p = \frac{0,5 \times l - x}{0,5 \times l} V_p' = \frac{0,5(13650) - 350}{0,5 \times 13650} \times 208937,69$$

$$= 198222,93 \text{ N}$$

Sehingga didapat nilai  $V_{cw}$  sebagai berikut:

$$V_{cw} = (0,29\sqrt{40} + 0,3 \times 8,24) \times 400 \times 639 + 198222,93$$

$$= 1315391,96 \text{ N}$$

- Kuat Geser Lentur ( $V_{ci}$ )

$$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f'_c}b_w.d_p + V_d + \frac{V_i \times M_{cre}}{M_{\max}}$$

Dimana:

Output dari ETABS

$$V_d = 119,33 \text{ kN} = 119332,3 \text{ N}$$

$$V_{ui} = 204,55 \text{ kN} = 204547,9 \text{ N}$$

$$f_{pe} = \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \times e_t}{W_b}$$

$$= \frac{2647805,94}{376000} + \frac{2647805,94 \times 100}{4141279813}$$

$$= 13,44 \text{ MPa}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{187376900}{4141279813} = 4,52 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} M_{cre} &= \left( \frac{I}{Y_T} \right) \left( \frac{\sqrt{f_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right) \\ &= \left( \frac{1756078862,48}{275,96} \right) \left( \frac{\sqrt{40}}{2} + 13,44 - 4,52 \right) \\ &= 768300610,17 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05\sqrt{40} \times 400 \times 639 + 1193323 + \frac{2045479 \times 768300610,17}{346518300} \\ &= 653683,86 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{ci} \geq 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$653683,86 \text{ N} \geq 0,17 \times \sqrt{40} \times 400 \times 639 = 274814,6 \text{ N (OK)}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 tulangan geser yang disumbangkan oleh beton diambil nilai terkecil antara  $V_{ci}$  dengan  $V_{cw}$ . Karena nilai  $V_{cw} > V_{ci}$  maka diambil  $V_{ci}$  sebagai kuat geser yang disumbangkan beton untuk daerah tumpuan.

#### Perencanaan tulangan geser

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{204547,9 - 0,75 \times 653683,86}{0,75} = -380953,3 \text{ N}$$

Karena  $V_s \text{ perlu} < 0$ , maka dipasang tulangan geser minimum

$$V_s \text{ min} = \frac{b \times d}{3} = \frac{400 \times 639}{3} = 85200 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan 2 Ø10 mm.

$$\begin{aligned} A_v \text{ min} &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.kaki \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \min \times 3 \times f_y}{b_w}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157,08 \times 3 \times 240}{400}$$

$$S_{\text{perlu}} = 282,74 \text{ mm}$$

Kontrol jarak spasi tulangan geser:

$$S_{\text{max}} < \frac{d}{2} < 600 \text{ mm}$$

$$125 < 319,5 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

Jadi dipasang jarak 125 mm antar tulangan geser

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari nilai berikut :

- $\frac{d}{4} = \frac{639 \text{ mm}}{4} = 159,8 \text{ mm}$
- $6 \times D \text{ lentur} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka S pakai tidak boleh lebih dari 132 mm

$$S_{\text{pakai}} < 132 \text{ mm}$$

$$125 \text{ mm} < 132 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Jadi, penulangan geser balok pratekan pada daerah tumpuan dipasang 2 kaki Ø10-125 mm

### **Kuat geser Daerah Lapangan**

Diperhitungkan pada muka kolom di luas daerah sendi plastis dengan jarak sebesar.

$$x = \text{diambil } 2 \times b_{\text{kolom}} = 2 \times 700 = 1400 \text{ mm}$$

$$p' = \frac{8 \times F_0 \times f}{l^2} = \frac{8 \times 3100000 \times 230}{13650^2} = 30,61 \text{ N/mm}$$

$$V_p' = \frac{l}{2} \times p' = \frac{13650}{2} \times 30,61 = 208937,69 \text{ N}$$

- Kuat Geser Badan ( $V_{cw}$ )

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc}) \times b_w \times d_p + V_p$$

Dimana:

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{pc} = \frac{F_o}{A_c} = \frac{3100000}{376000} = 8,24 \text{ N/mm}^2$$

$$d_p = h - d' = 700 - 61 = 639$$

$$V_p = \frac{0,5 \times l - x}{0,5 \times l} V_{p'} = \frac{0,5(13650) - 1400}{0,5 \times 13650} \times 208937,69$$

$$= 166078,67 \text{ N}$$

Sehingga didapat nilai  $V_{cw}$  sebagai berikut:

$$V_{cw} = (0,29\sqrt{40} + 0,3 \cdot 8,24) \times 400 \times 639 + 166078,67$$

$$= 1283247,70 \text{ N}$$

- Kuat Geser Lentur ( $V_{ci}$ )

$$V_{ci} = 0,05\lambda\sqrt{f'_c}b_w.d_p + V_d + \frac{V_i \times M_{cre}}{M_{max}}$$

Dimana:

Output dari ETABS

$$V_d = 119,33 \text{ kN} = 119332,3 \text{ N}$$

$$V_{ui} = 204,55 \text{ kN} = 204547,9 \text{ N}$$

$$V_{d \text{ lapangan}} = \frac{0,5 \times l - 2h}{0,5 \times l} \times V_d$$

$$= \frac{0,5 \times 13650 - 1400}{0,5 \times 13650} \times 119332,3$$

$$= 94853,9 \text{ N}$$

$$V_{ui \text{ lapangan}} = \frac{0,5 \times l - 2h}{0,5 \times l} \times V_{ui}$$

$$= \frac{0,5 \times 13650 - 1400}{0,5 \times 13650} \times 204547,9$$

$$= 162589,4 \text{ N}$$



$$\begin{aligned}
 f_{pe} &= \frac{F_{eff}}{A_c} + \frac{F_{eff} \times e_t}{W_b} \\
 &= \frac{2647805,94}{376000} + \frac{2647805,94 \times 230}{4141279813} \\
 &= 21,75 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$f_d = \frac{M_d}{W_b} = \frac{204806400}{4141279813} = 4,95 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 M_{cre} &= \left( \frac{I}{Y_T} \right) \left( \frac{\sqrt{f_c}}{2} + f_{pe} - f_d \right) \\
 &= \left( \frac{1756078862,48}{275,96} \right) \left( \frac{\sqrt{40}}{2} + 21,75 - 4,95 \right) \\
 &= 1270446177,98 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= 0,05\sqrt{40} \times 400 \times 639 + 948539 + \frac{1625894 \times 1270446177,98}{354377900} \\
 &= 758565,18 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$V_{ci} \geq 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$758565,18 \text{ N} \geq 0,17 \times \sqrt{40} \times 400 \times 639 = 274814,6 \text{ N (OK)}$$

Sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.3.3 tulangan geser yang disumbangkan oleh beton diambil nilai terkecil antara  $V_{ci}$  dengan  $V_{cw}$ . Karena nilai  $V_{cw} > V_{ci}$  maka diambil  $V_{ci}$  sebagai kuat geser yang disumbangkan beton untuk daerah tumpuan.

#### Perencanaan tulangan geser

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{162589,4 - 0,75 \times 758565,18}{0,75} = -541779,4 \text{ N}$$

Karena  $V_s \text{ perlu} < 0$ , maka dipasang tulangan geser minimum

$$V_s \text{ min} = \frac{b \times d}{3} = \frac{400 \times 639}{3} = 85200 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan 2 Ø10 mm

$$\begin{aligned}
 A_v \text{ min} &= 0,25 \times 3,14 \times (d^2) \times n.\text{kaki} \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times (10^2) \times 2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \text{ min} \times 3 \times f_y}{b_w} \\
 S_{\text{perlu}} &= \frac{157,08 \times 3 \times 240}{400} \\
 S_{\text{perlu}} &= 282,74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} &< \frac{d}{2} < 600 \text{ mm} \\
 250 &< 319,5 \text{ mm} < 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi, penulangan geser balok pratekan pada daerah tumpuan dipasang 2 kaki Ø10-250 mm

#### 4.5.13 Kontrol Momen Nominal

Desain balok pratekan terhadap momen nominalnya harus memenuhi kontrol momen batas yang disyaratkan oleh SNI 2847-2013 pasal 18.7

Data Perencanaan :

- $F_u = 184 \text{ kN} = 184000 \text{ N}$
- $A \text{ strand} = 100,1 \text{ mm}^2$
- $n \text{ strand} = 25 \text{ buah}$
- $A_{ps} = 25 \times 100,1 = 2409,24 \text{ mm}^2$
- $f_{pu} = \frac{184000}{100,1} = 1838,162 \text{ MPa}$
- $f_{py} = 0,9 \times 1838,162 = 1654,345 \text{ MPa}$

- $\frac{f_{py}}{f_{pu}} = \frac{1654,345}{1838,162} = 0,9$
- $\gamma_p = 0,28$
- $\beta_I = 0,764$
- $f_{se} = 1058,06 \text{ MPa}$
- $d = 700 - 40 - 10 - 0,5 \times 22 = 639 \text{ mm}$

### Daerah Tumpuan

Penampang pada daerah tumpuan dimana tendon berada di daerah batas kern atas (daerah arsipiran). Pada serat atas dipasang 6D22 ( $A_s = 2280,79 \text{ mm}^2$ ), sedangkan pada serat bawah dipasang tulangan lunak 4D22 ( $A_s' = 1520,53 \text{ mm}^2$ ).

$$d_p = e_{\text{Tumpuan}} + Y_b$$

$$= 100 + 424,04 = 524,04 \text{ mm}$$

$$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} \text{ dimana } A_{ps} \text{ adalah luas penampang baja prategang}$$

sehingga didapat:

$$\rho_{ps} = \frac{225380}{1200 \times 524,04} = 0,0038$$

Syarat :

$$\text{Selimut Beton} \leq 0,15 \times d_p \text{ (SNI 2847-2013 18.7.2)}$$

$$40 \text{ mm} \leq (0,15 \times 524,04)$$

$$40 \text{ mm} \leq 78,61 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Mencari nilai  $f_{ps}$  untuk tendon tidak terlekat

Rasio panjang balok terhadap tinggi penampang balok

$$\frac{l}{h_b} = \frac{13650}{700} = 19,5 < 35$$

Untuk  $\frac{l}{h_b} < 35$ , maka nilai  $f_{ps}$  harus dipilih yang terkecil dari nilai dibawah ini

$$\begin{aligned} 1) f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \times \rho_{ps}} \\ &= 1058,06 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,0038} = 1232,47 \text{ Mpa} \\ 2) f_{ps} &= f_{py} = 1654,35 \text{ Mpa} \\ 3) f_{ps} &= f_{se} + 420 = 1058,06 + 420 = 1478,06 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Maka  $f_{ps} = 1232,47 \text{ Mpa}$

Periksa apakah balok dianggap balok T atau balok persegi panjang:

$$\begin{aligned} a &= \left( \frac{A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_w} \right) \\ &= \left( \frac{2409,24 \times 1232,47 + 2280,79 \times 420}{0,85 \times 40 \times 400} \right) \\ &= 288,77 \text{ mm} > 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena ( $a > t_p$ ) maka balok dianggap sebagai Balok T

$$\begin{aligned} A_{pw} \cdot f_{ps} &= A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y - 0,85 \times f_c (b - b_w) t_p \\ &= 2409,24 \times 1232,47 + 2280,79 \times 420 - 0,85 \times 40 (1200 - 400) \times 120 \\ &= 663251,54 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \left( \frac{A_{pw} \times f_{ps}}{0,85 \times f_c' \times b_w} \right) \\ &= \left( \frac{663251,54}{0,85 \times 40 \times 400} \right) \\ &= 48,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek kondisi penulangan

$$\begin{aligned} \omega_p &= \frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_c} = \frac{0,0038 \times 1232,47}{40} = 0,118 \\ \rho &= \frac{A_s}{b \times d} = \frac{2280,79}{400 \times 639} = 0,0089 \end{aligned}$$

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c} = \frac{0,0089 \times 420}{40} = 0,094$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \times d} = \frac{1520,53}{400 \times 639} = 0,0059$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f_c} = \frac{0,0059 \times 420}{40} = 0,062$$

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') < 0,36\beta_1$$

$$0,118 + \frac{639}{524,04} (0,094 - 0,062) < 0,36 \times 0,76$$

$$0,16 < 0,27 \quad (\text{OK})$$

Balok termasuk balok dengan tulangan normal, maka  $M_n$  untuk balok dengan tulangan normal dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_n &= A_{pw} \cdot f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \cdot f_y (d - d_p) + 0,85 \cdot f_c (b - b_w) h_f \left( d_p - \frac{h_f}{2} \right) \\ &= 663251 \left( 524 - \frac{48,7}{2} \right) + 2280,79 \times 420 (693 - 524) + 0,85 \times 40 (1200 - 400) 120 \left( 524 - \frac{120}{2} \right) \\ &= 1956155732 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal terhadap momen retak

$$\phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$0,9 \times 1956155732 > 1,2 \times 1063014574$$

$$1760540159 \text{ Nmm} > 1275617488 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Kontrol *partial prestressing ratio* (PPR)

$$\begin{aligned} M_{np} &= A_{pw} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) \\ &= 663251,54 \left( 524,04 - \frac{48,77}{2} \right) \\ &= 331399141,69 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\frac{M_{np}}{M_n} < 25\%$$

$$\frac{331399141,69}{1956155732} < 25\%$$

$$16,94\% < 25\% \quad (\text{OK})$$

### Daerah Lapangan

Penampang pada daerah lapangan dimana tendon berada di daerah batas kern atas (daerah arsiriran). Pada serat atas dipasang 3D22 ( $A_s = 1140,39 \text{ mm}^2$ ), sedangkan pada serat bawah dipasang tulangan lunak 5D22 ( $A_s' = 1900,66 \text{ mm}^2$ ).

$$\begin{aligned} d_p &= e_{\text{lapangan}} + Y_t \\ &= 230 + 275,96 = 505,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

$\rho_{ps} = \frac{A_{ps}}{b \times d_p}$  dimana  $A_{ps}$  adalah luas penampang baja prategang sehingga didapat:

$$\rho_{ps} = \frac{2409,24}{1200 \times 505,96} = 0,0039$$

Syarat :

$$\text{Selimut Beton} \leq 0,15 \times d_p \text{ (SNI 2847-2013 18.7.2)}$$

$$40 \text{ mm} \leq (0,15 \times 505,96)$$

$$40 \text{ mm} \leq 75,89 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Mencari nilai  $f_{ps}$  untuk tendon tidak terlekat

Rasio panjang balok terhadap tinggi penampang balok

$$\frac{l}{h_b} = \frac{13650}{700} = 19,5 < 35$$

Untuk  $\frac{l}{h_b} < 35$ , maka nilai  $f_{ps}$  harus dipilih yang terkecil dari nilai

dibawah ini

$$\begin{aligned} 1) f_{ps} &= f_{se} + 70 + \frac{f_c}{100 \times \rho_{ps}} \\ &= 1058,06 + 70 + \frac{40}{100 \times 0,0039} = 1228,87 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$2) f_{ps} = f_{py} = 1654,35 \text{ Mpa}$$

$$3) f_{ps} = f_{se} + 420 = 1058,06 + 420 = 1478,06 \text{ Mpa}$$

Maka  $f_{ps} = 1228,87 \text{ Mpa}$

Periksa apakah balok dianggap balok T atau balok persegi panjang:

$$\begin{aligned} a &= \left( \frac{A_{ps} \times f_{ps} + A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b_w} \right) \\ &= \left( \frac{2409,24 \times 1228,87 + 1900,66 \times 420}{0,85 \times 40 \times 1200} \right) \\ &= 92,13 \text{ mm} > 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena ( $a < t_p$ ) maka balok dianggap sebagai Balok biasa  
Cek kondisi penulangan

$$\omega_p = \frac{\rho_p \times f_{ps}}{f_c} = \frac{0,0039 \times 1228,87}{40} = 0,122$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1900,66}{1200 \times 639} = 0,0025$$

$$\omega = \frac{\rho \times f_y}{f_c} = \frac{0,0025 \times 420}{40} = 0,026$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \times d} = \frac{1140,39}{400 \times 639} = 0,0045$$

$$\omega' = \frac{\rho' \times f_y}{f_c} = \frac{0,0045 \times 420}{40} = 0,047$$

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') < 0,36 \beta_1$$

$$0,122 + \frac{639}{505,96} (0,026 - 0,047) < 0,36 \times 0,76$$

$$0,096 < 0,27 \quad (\text{OK})$$

Balok termasuk balok dengan tulangan normal, maka  $M_n$  untuk balok dengan tulangan normal dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_n &= A_{ps} \times f_{ps} \left( d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s \times f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2409,24 \times 1228,87 \left( 505,96 - \frac{92,13}{2} \right) + 1900,66 \times 420 \left( 639 - \frac{92,13}{2} \right) \\ &= 1834900978 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal terhadap momen retak

$$\phi M_n > 1,2 M_{cr}$$

$$0,9 \times 1834900978 > 1,2 \times 1063014574$$

$$1651410880 \text{ Nmm} > 1275617488 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

#### 4.5.14 Perhitungan Angkur Ujung

Penulangan pada zona angkur untuk menghindari pembelahan dan blusting akibat gaya tekan terpusat yang disalurkan melalui alat angkur.

$$F_o = 3100000 \text{ N}$$

$$P_u = 1,2 \times F_o = 1,2 \times 3100000 = 3720000 \text{ N}$$

$$a = 315 \text{ mm (angkur dengan strand 25 buah)}$$

$$e = 100 \text{ mm (eksentrisitas tumpuan)}$$

$$h = 700 \text{ mm (tinggi penampang pada arah ditinjau)}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5(h-2e) = 0,5(700-2 \times 100) = 250 \text{ mm}$$

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \sum P_u \left(1 - \frac{a}{h}\right) = 0,25 \times 3720000 \left(1 - \frac{315}{700}\right) = 511500 \text{ N}$$

$$A_{vp} = \frac{T_{\text{pencar}}}{f_y} = \frac{511500}{420} = 1217,86 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13,  $A_v = 265,46 \text{ mm}^2$ , maka jumlah tulangan sengkang diperlukan

$$n = \frac{A_{vp}}{A_v} = \frac{1217,86}{265,46} = 5 \text{ buah}$$

Jarak sengkang pada daerah angkur

$$S = \frac{d_{\text{pencar}}}{n} = \frac{250}{5} = 50 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang tulangan D13-50

#### 4.5.15 Perhitungan Panjang Penyaluran

Tulangan atas terpasang adalah 6D22. Tiga buah tulangan akan dipasang menerus di sepanjang bentang, dan tiga buah tulangan akan dipotong (3D22,  $A_s = 1140,39 \text{ mm}^2$ ). Kuat lentur negatif rencana dengan tulangan ini adalah :



$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{1140,39 \times 420}{0,85 \times 40 \times 400} = 35,22 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1140,39 \cdot 420 \left( 639 - \frac{35,22}{2} \right)$$

$$= 297623315 \text{ Nmm} = 297,623 \text{ kNm}$$

Untuk mendapatkan lokasi kuat momen negatif rencana 297,623 kNm pada balok, ambil penjumlahan momen dengan menggunakan kombinasi beban 0,9D + kuat momen,  $M_n$  di ujung komponen.

$$M_n = 712,43 \text{ kNm}$$

$$V_u = 298,59 \text{ kN}$$

$$w_d = 0,4 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 6,72 \text{ kN/m} \times 0,9 = 6,05 \text{ kN/m}$$

$$6,05x^2 - 298,59x + (712,43 - 297,62) = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-298,59 \pm \sqrt{-298,59^2 - 4(6,05)(414,81)}}{2 \times 6,05}$$

$$x_1 = 1,43 \text{ m}$$

$$x_2 = 47 \text{ m}$$

Momen rencana 297,623 kNm ternyata terletak pada jarak 1,43 m dari muka kolom. Data ini dapat dipakai sebagai dasar untuk menentukan cut-off point bagi tulangan 6D22. Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 12.12.3, maka :

$$x + 12d_b = 1430 + 12(22) = 1694 \text{ mm}$$

$$x + d = 1430 + 639 = 2069 \text{ mm}$$

$$x + l_n/16 = 1430 + 853,12 = 2283 \text{ mm}$$

Maka diambil nilai terbesar, yaitu 2300 mm

Perhitungan panjang penyaluran tulangan D 22 berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 12.2.1 adalah sebagai berikut:  
Diketahui  $d_b = 22 \text{ mm}$ ;  $\Psi_e = 1,0$  ;  $\psi_t = 1$  ;  $\lambda = 1,0$

$$l_d = d_b \times \frac{f_y \times \Psi_t \times \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}}$$

$$= 22 \times \frac{420 \times 1 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{40}} = 1289,09 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm}$$

Syarat :

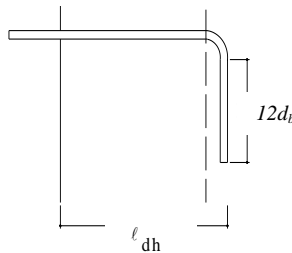
$$l_d > 300 \text{ mm}$$

$$1300 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan tarik 2300 mm.

- Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik:

Menurut SNI 2847-2013 Ps.12.5.1, panjang penyaluran  $\ell_{dh}$  untuk tulangan tarik dengan kait standar  $90^\circ$  dalam beton berat normal adalah sbb :



Gambar 4. 44 Panjang penyaluran kait balok pratekan

$$\ell_{dh} > 8d_b = 8 \times 22 = 152 \text{ mm}$$

$$\ell_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \ell_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y \times d_b}{\sqrt{f_c}} \\ &= \frac{0,24 \times 420 \times 22}{\sqrt{40}} = 350,63 \text{ mm} \approx 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, digunakan  $\ell_{dh} = 360 \text{ mm}$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8d_b$$

$$360 \text{ mm} \geq 8 \times 22$$

$$360 \text{ mm} \geq 176 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$360 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 300 mm

Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 360 mm dan panjang kait 300 mm

- Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan:

$$\begin{aligned} l_{dh_1} &= \frac{0,24 \times f_y \times d_b}{\sqrt{f_c}} \\ &= \frac{0,24 \times 420 \times 22}{\sqrt{40}} = 350,63 \text{ mm} \approx 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_{dh_2} &= 0,043 \times f_y \times d_b \\ &= 0,043 \times 420 \times 22 = 397,3 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat

$$l_{dh} > 200 \text{ mm}$$

$$400 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

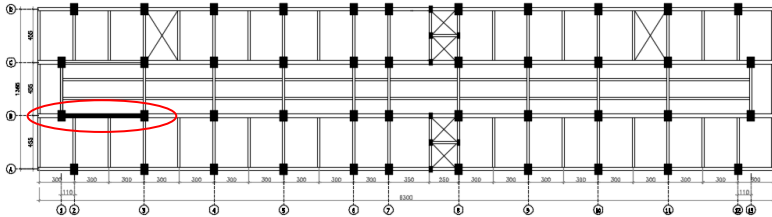
Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan sepanjang 400 mm

#### 4.6 Desain Struktur Primer Non Pratekan

Struktur utama ini berfungsi untuk menahan pembebanan yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral yang berupa beban gempa. Komponen struktur utama ini terdiri dari balok dan kolom. Desain struktur primer Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya ini menggunakan sistem SRPMK. Pendetailan semua struktur primer berdasarkan SNI 2847-2013.

#### 4.6.1 Desain Balok Induk

Dalam struktur bangunan ini terdapat dua macam balok induk, yaitu balok 40/60 dan 35/50. Berikut ini perhitungan desain penulangan balok induk 40/60 :

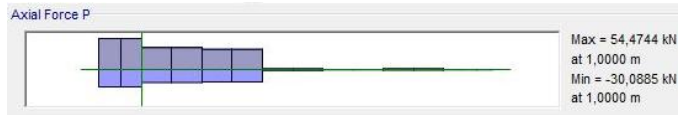


Gambar 4. 45 Denah balok induk yang ditinjau

##### 4.6.1.1 Data Perencanaan Balok Induk

Berikut data perencanaan dalam perhitungan penulangan balok induk :

- Tipe Balok = B1
- Dimensi Balok = 40/60 mm
- Bentang Balok = 7100 mm
- Mutu Beton ( $f'_c$ ) = 30 Mpa
- Selimut Beton = 40 mm
- Diameter Tul. Lentur = 19 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 Mpa
- Diameter Tul. Torsi = 16 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Diameter Tul. Geser = 13 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Data output gaya dalam pada balok induk dari program bantu analisis struktur ETABS. Berikut adalah gaya tekan aksial, torsi, geser, momen tumpuan dan lapangan :
  - Gaya aksial terfaktor = 54,474 kN

Gambar 4. 46  $P_u$  balok induk

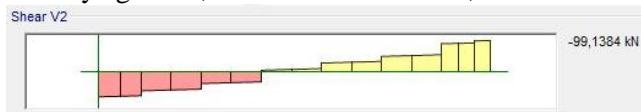
○ Gaya torsi = 96,214 kN

Gambar 4. 47  $T_u$  balok induk

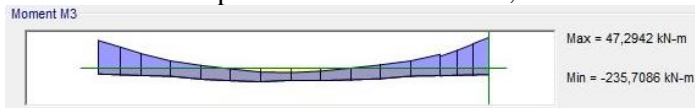
○ Gaya geser 1,2D+L kanan = 124,024 kN

Gambar 4. 48  $V_{1,2D+L}$  tumpuan kanan balok induk

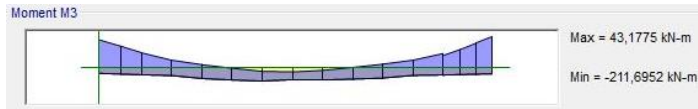
○ Gaya geser 1,2D+L kiri = 99,138 kN

Gambar 4. 49  $V_{1,2D+L}$  tumpuan kiri balok induk

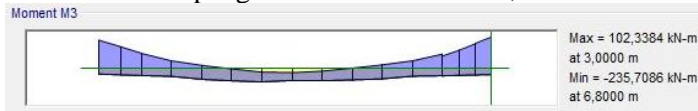
○ Momen tumpuan kanan = 235,709 kNm

Gambar 4. 50  $M_u$  tumpuan kanan balok induk

○ Momen tumpuan kiri = 211,695 kNm

Gambar 4. 51  $M_u$  tumpuan kiri balok induk

○ Momen lapangan = 102,338 kNm

Gambar 4. 52  $M_u$  lapangan balok induk

#### 4.6.1.2 Cek Syarat Struktur Penahan Gempa

Sebelum perhitungan penulangan balok, harus dilakukan kontrol terhadap syarat komponen struktur balok yang memenuhi persyaratan SRPMK sebagai berikut :

- Gaya tekan aksial terfaktor pada balok,  $P_u < \frac{A_g \times f_c'}{10}$   

$$54,474 kN < \frac{(400 \times 600) \times 30}{10} = 720 kN \quad (\text{OK})$$
- Bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n \geq 4 \times d$   

$$d = h - \text{decking} - \text{Sengkang} - \left(\frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}}\right)$$

$$= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm}\right)$$

$$= 537,5 \text{ mm}$$

$$l_n = 7100 \text{ mm} - (2 \times 300 \text{ mm}) = 6500 \text{ mm}$$

$$6500 \text{ mm} \geq 4 \times 537,5 \text{ mm} = 2150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$
- Lebar komponen,  $b_w \geq 0,3 \times h$  atau 250 mm  

$$400 \text{ mm} \geq 0,3 \times 600 \text{ mm} = 180 \text{ mm} \text{ atau } 250 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$
- Lebar efektif maks,  $b_w \leq 3 \times c_2$  atau  $c_2 + 2(0,75 \times c_1)$   

$$400 \text{ mm} \leq 3 \times 900 = 2700$$

$$400 \text{ mm} \leq 900 + 2(0,75 \times 600) = 1800 \quad (\text{OK})$$

#### 4.6.1.3 Perhitungan Penulangan Torsi

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada program analisis struktur diperoleh momen puntir terbesar :

$$T_u = 96,214 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 600) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Cek kebutuhan tulangan torsi

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2, pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan.  $T_u$  maksimum boleh direduksi menjadi nilai yang diberikan sebagai berikut :

$$T_{u_{\min}} = \phi \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left( \frac{240000^2}{2000} \right) = 9,859 \text{ kNm}$$

$$T_{u_{\max}} = \phi \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left( \frac{240000^2}{2000} \right) = 39,436 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$T_{u_{\min}} > T_u \rightarrow \text{tidak perlu tulangan torsi}$$

$$T_{u_{\min}} < T_u \rightarrow \text{perlu tulangan torsi}$$

$$T_{u_{\min}} < T_u < T_{u_{\max}}$$

$$9,859 \text{ kNm} < 96,214 \text{ kNm} < 39,436 \text{ kNm}$$

Maka perlu tulangan torsi dan dipakai  $T_u = 39,439 \text{ kNm}$

##### Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) \\ &= (400 - 2 \times 40 - 13) \times (600 - (2 \times 40) - 13) \\ &= 155649 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$P_h = 2 \times ((b_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2t_{\text{decking}} - \phi_{\text{geser}}))$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times ((400 - (2 \times 40) - 13) + (700 - (2 \times 40) - 13)) \\
 &= 1628 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$V_u = 192,63 \text{ kN (dari analisis struktur ETABS)}$$

$$\begin{aligned}
 &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot \Phi}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1\sqrt{f_c'}}{6}\right) + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}} \\
 &\sqrt{\left(\frac{192635}{400 \cdot 537,5}\right)^2 + \left(\frac{39436024 \cdot 1628}{1,7 \cdot 155649^2}\right)^2} \leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1\sqrt{30}}{6}\right) + \frac{2\sqrt{30}}{3}} \\
 &1,798 \leq 3,184 \quad \quad \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Luas tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 155649 \text{ mm}^2 \\
 &= 132301,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{39,439}{0,75} = 52,58 \text{ kNm} = 52581365,52 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta} \\
 &= \frac{52581365,52}{2 \times 132301,65 \times 420 \times \cot 45} \\
 &= 0,473
 \end{aligned}$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot \Phi \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cot^2 \theta$$

$$A_l = 0,473 \times 1628 \left( \frac{420}{420} \right) \cot^2 45$$

$$A_l = 770,268 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum



$$A_{l \min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$A_{l \min} = \frac{5 \times 240000 \sqrt{30}}{12 \times 420} - 0,473 \times 1628 \times \frac{420}{420}$$

$$A_{l \min} = 533,833 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l \text{ perlu}} \leq A_{l \min}$  maka gunakan  $A_{l \min}$

$A_{l \text{ perlu}} \geq A_{l \min}$  maka gunakan  $A_{l \text{ perlu}}$

$A_{l \text{ perlu}} > A_{l \min}$   
 $770,268 \text{ mm}^2 > 533,833 \text{ mm}^2$

Maka tulangan torsi perlu sebesar  $770,268 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_l}{4} = \frac{770,268 \text{ mm}^2}{4} = 192,567 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar  $192,567 \text{ mm}^2$

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times 192,567 = 385,13 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan 4D19

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 19^2 \times 2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 385,13 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan torsi yaitu 2 D19

#### 4.6.1.4 Perhitungan Penulangan Lentur

##### Rasio Tulangan

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \times (30 - 28)}{7} = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} = 0,0298 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0298 = 0,0224$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

### **Daerah Tumpuan**

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan yaitu akibat kombinasi : Envelope

$$\begin{aligned} X_b &= \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 420} \right) \times 537,5 \\ &= 316,176 \text{ mm} \\ X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 316,176 \text{ mm} \\ &= 237,132 \text{ mm} \\ X_{\text{min}} &= d' \\ &= 600 - 537,5 \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka garis netral rencana  $X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f'_c \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,836 \times 100 \\ &= 852429 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Asc} = \frac{C_c'}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{852429}{420} \\
 &= 2029,592 \text{ mm}^2 \\
 \text{Mnc} &= \text{Asc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 2029,592 \times 420 \times \left( 537,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 422561020,41 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mu}_{\text{tumpuan}} = 235,709 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mn} &= \frac{\text{Mux}}{\phi} \\
 &= \frac{235,709}{0,9} \\
 &= 261,898 \text{ kNm} = 261898444,44 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

#### Kontrol momen nominal tulangan lentur

$\text{Mns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$\text{Mns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 \text{Mns} &= \text{Mn} - \text{Mnc} \\
 &= 261898444,44 \text{ Nmm} - 422561020,41 \text{ Nmm} \\
 &= -160662576 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$\text{Mns} < 0$  (tidak perlu tulangan lentur tekan)

#### Desain Tulangan Lentur Tarik

$$\text{Mn}_{\text{perlu}} = 261,898 \text{ kNm} = 261898444,44 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{\text{Mn}}{b \cdot d_x^2} = \frac{261898444,44}{400 \times 537,5^2} = 2,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{16,47} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,47 \cdot 2,26}{420}} \right] \\
 &= 0,0056
 \end{aligned}$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0033 < 0,0056 < 0,0298 \quad (\text{OK})$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \left( \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \right) + \frac{A_l}{4} \\ A_{s_{\text{perlu}}} &= (0,0056 \times 400 \times 537,5) + 192,567 \\ A_{s_{\text{perlu}}} &= 1409,41 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan pakai D19

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tulangan pakai}}}} \\ n &= \frac{1409,41 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)} \\ n &= 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n_{\text{tulangan}} \\ &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 6 \\ &= 1701,17 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &\geq A_{s_{\text{perlu}}} \\ 1701,17 \text{ mm}^2 &\geq 1409,41 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan tarik 6D19

### Desain Tulangan Lentur Tekan

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan torsi.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \frac{A_l}{4} \\ &= 192,567 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{2} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

Tulangan lentur tarik 6D19

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n_{\text{tulangan}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 6 \\
 &= 1701,17 \text{ mm}^2 \\
 A_s'_{\text{perlu}} &= \frac{1}{2} \times 1701,17 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan D19

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}} \\
 n &= \frac{850,59 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)} \\
 n &= 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 4 \\
 &= 1134,11 \text{ mm}^2 \geq 850,59 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan tekan 4D19

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 S_{\text{maks}} &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (6 \times 19)}{6-1}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 36 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$36 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 51,2 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$51,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

### Cek momen nominal penampang

$$a = \left( \frac{(A_s \text{ tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(1701,17 \times 420)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 70,05 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 70,05 \\ &= 714492,42 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n_{pasang}} &= C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 714492,42 \times \left( 537,5 - \frac{70,05}{2} \right) \\ &= 359015193,16 \text{ Nmm} = 359,015 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} M_{n_{pasang}} &\geq M_{n_{perlu}} \\ 359,015 \text{ kNm} &\geq 261,898 \text{ kNm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 6 \text{ D19}$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 4 \text{ D19}$$

### Daerah Lapangan

Momen terbesar yang terjadi pada lapangan yaitu akibat kombinasi : Envelope

$$\begin{aligned} X_b &= \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 420} \right) \times 537,5 \\ &= 316,176 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 316,176 \text{ mm} \\
 &= 237,132 \text{ mm} \\
 X_{\min} &= d' \\
 &= 600-537,5 \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana  $X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,836 \times 100 \\
 &= 852429 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{C_c'}{f_y} \\
 &= \frac{852429}{420} \\
 &= 2029,592 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 2029,592 \times 420 \times \left( 537,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 422561020,41 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 102,338 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{102,338 \text{ kNm}}{0,9} \\
 &= 113,709 \text{ kNm} = 113709333,33 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

#### Kontrol momen nominal tulangan lentur

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 113709333,33 \text{ Nmm} - 422561020,41 \text{ Nmm} \\
 &= -308851687,1 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$M_{ns} < 0$  ( tidak perlu tulangan lentur tekan)

### Desain Tulangan Lentur Tarik

$$M_{n_{\text{perlu}}} = 113,709 \text{ kNm} = 113709333,33 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{113709333,33}{400 \times 537,5^2} = 0,984 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{16,47} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,47 \cdot 0,984}{420}} \right]$$

$$= 0,0024$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0033 < 0,0024 < 0,0298$  (maka dipakai  $\rho_{\min}$  )

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (\rho_{\text{perlu}} \times b \times d) + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (0,0033 \times 400 \times 537,5) + 192,567$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 909,23 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan pakai D19

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ tulangan pakai}}}$$

$$n = \frac{909,234 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \cdot \text{tulangan}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 4$$

$$= 1134,11 \text{ mm}^2$$

Kontrol :



$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$1134,11 \text{ mm}^2 \geq 909,23 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, dipasang tulangan tarik 4D19

### Desain Tulangan Lentur Tekan

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan torsi

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{A_l}{4}$$

$$= 192,567 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur lapangan (+) (-)} \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur terbesar}$$

Tulangan lentur tarik 6D19

$$A_{s \text{ pasang}} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.tulangan$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 6$$

$$= 1701,17 \text{ mm}^2$$

$$A_{s' \text{ perlu}} = \frac{1}{4} \times 1701,17$$

$$= 425,29 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan D19

$$n = \frac{A_{s'}}{A_{s \text{ tulangan pakai}}}$$

$$= \frac{425,29 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$$n = 3 \text{ buah}$$

Jadi, dipasang tulangan tekan 3D19

Luasan tulangan lentur tekan sisi atas

$$A_{s \text{ pasang}} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.tulangan$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 3$$

$$= 850,59 \text{ mm}^2 \geq 425,29 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

### Tulangan tarik

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 72,67 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$72,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

### Tulangan tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$S_{maks} = 118,5 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$118,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

### Cek momen nominal penampang

$$a = \left( \frac{A_s \text{ tarik} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(1134,11 \times 420)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 46,69$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 46,69 \\ &= 476328,28 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Mn_{pasang} = C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 476328,28 \times \left( 537,5 - \frac{46,69}{2} \right) \\
 &= 244904457,90 \text{ Nmm} = 244,90 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{pasang}}} &\geq M_{n_{\text{perlu}}} \\
 244,90 \text{ kNm} &\geq 113,71 \text{ kNm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan dipasang tulangan :

Tulangan tarik serat bawah = 4 D19

Tulangan tekan serat atas = 3 D19

#### 4.6.1.5 Perhitungan Penulangan Geser

##### Momen Nominal Kiri

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times (1,25 f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 a &= \frac{1701,17 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 a &= 87,56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$M_{pr \text{ kiri}} = A_s \text{ pasang} \times 1,25 f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr \text{ kiri}} = 1701,17 \times 1,25 \times 420 \times \left( 537,5 - \frac{87,56}{2} \right)$$

$$M_{pr \text{ kiri}} = 440948841 \text{ Nmm}$$

##### Momen Nominal Kanan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 a &= \frac{1134,11 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 a &= 58,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$M_{pr \text{ kanan}} = A_s' \text{ pasang} \times 1,25 f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{pr \text{ kanan}} = 1417,6 \times 1,25 \times 420 \times \left( 537,5 - \frac{58,37}{2} \right)$$

$$M_{pr \text{ kanan}} = 302654950 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output SAP akibat kombinasi 1,2D+L

$$V_u = 124,024 \text{ kN} = 124024,40 \text{ N}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.3.2.3

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u \cdot L_n}{2} \\ &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u \\ &= \frac{44094884 + 302654950}{\left(7100 - \frac{600}{2} - \frac{600}{2}\right)} + 124024,40 \\ &= 238424,98 \text{ N} \end{aligned}$$

### **Penulangan Geser Tumpuan Balok**

$$V_{e1} = 238424,98 \text{ N}$$

Kontribusi  $V_c$  memikul  $V_e$  tergantung pada nilai  $V$  dan  $P_u$  pada balok.

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} \\ &= \frac{44094884 + 302654950}{7100 - 600} \\ &= 114400,58 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{sway} \geq 0,5 V_{e1}$$

$$114400,58 \text{ N} \geq 0,5 \times 238424,98 = 119212,49 \text{ N} \quad (\text{NOT OK})$$

$$P_u \leq \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$54474 \text{ N} \leq \frac{(400 \times 600) \times 30}{20} = 360000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Maka Nilai  $V_c$  (Kuat geser yang disumbangkan oleh beton) :

$$V_c = 0,17\sqrt{f'c}b_w d = 0,17\sqrt{30} \times 400 \times 537,5 = 196267,25 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75 \quad (\text{SNI-2847-2013 pasal 9.3.2.3})$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{238424,98}{0,75} - 196267,25 = 121632,72 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = \frac{2}{3}\sqrt{f'c}b_w d = \frac{2}{3}\sqrt{30} \times 400 \times 537,5 = 785069 \text{ N}$$

$$V_s \leq V_{s \max} \quad (\text{OK})$$

- Menentukan  $\frac{A_v}{s}$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{121632,72}{420 \times 537,5} = 0,539 \text{ mm}$$

- Menentukan  $\frac{A_v}{s} + 2\frac{A_t}{s}$

$$\frac{A_v}{s} + 2\frac{A_t}{s} \rightarrow 0,539 + (2 \times 0,473) = 1,485 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang 2 kaki D13-100 mm

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{100} = 2,654 \text{ mm} > 1,485 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai sengkang 2 kaki D13-100 mm (tumpuan)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1, hoops ini harus dipasang sepanjang 2h dari sisi muka kolom terdekat.

$$2 \times h = 2 \times 600 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2, hoops pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat dan berikutnya dipasang dengan spasi terkecil dari :

- $d/4 = 537,5/4 = 134,37 \text{ mm}$
- $6 \times D_{tul} = 6 \times 19 = 114 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

- 150 mm

Jadi, dipasang 2 kaki D13-100 mm sepanjang 1200 mm dari muka kolom, dimana tulangan geser pertama dipasang 50 mm dari muka kolom.

### **Penulangan Geser Lapangan Balok**

Pemasangan tulangan geser di luar sendi plastis ( $>2h$ ). Untuk daerah di daerah luar sendi plastis ini, kuat geser beton diperhitungkan sebesar :

$$\frac{V_{e2}}{\frac{1}{2}l_n - 2h} = \frac{V_{e1}}{\frac{1}{2}l_n}$$

$$V_{e2} = \frac{V_{e1} \left( \frac{1}{2}l_n - 2h \right)}{\frac{1}{2}l_n}$$

$$V_{e2} = \frac{238424,98 \times \left( \frac{1}{2}6500 - 2 \times 600 \right)}{\frac{1}{2} \times 6500} = 150391,14 \text{ N}$$

Kontribusi  $V_c$  memikul  $V_e$  tergantung pada nilai  $V$  dan  $P_u$  pada balok.

$$V = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n}$$

$$= \frac{44094884 + 302654950}{7100 - 600}$$

$$= 114400,58 \text{ N}$$

$$V \geq 0,5V_{e2}$$

$$114400,58 \text{ N} \geq 0,5 \times 150391,14 = 75195,57 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

$$P_u \leq \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$54474 \text{ N} \leq \frac{(400 \times 600) \times 30}{20} = 360000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Maka Nilai  $V_c = 0$  :

$$\phi = 0,75 \quad (\text{SNI-2847-2013 pasal 9.3.2.3})$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{150391,14}{0,75} - 0 = 200521,52 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = \frac{2}{3} \sqrt{f' c} b_w d = \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 400 \times 537,5 = 785069 \text{ N}$$

$$V_s \leq V_{s \max} \quad (\text{OK})$$

- Menentukan  $\frac{A_v}{s}$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} \quad (\text{SNI 2847-2013 ps 11.4.7.2})$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{200521,52}{420 \times 537,5} = 0,888 \text{ mm}$$

- Direncanakan sengkang 2 kaki D13-250 mm

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{250} = 1,062 \text{ mm} > 0,888 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai sengkang 2 kaki D13-250 mm (lapangan)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4, untuk daerah di luar sendi plastis, sengkang dengan kait gempapada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang komponen struktur.

- $d/2 = 537,5/2 = 268,75 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi, dipasang 2 kaki D13-250 mm di luar sendi plastis.

#### 4.6.1.6 Perhitungan Panjang Penyaluran.

- Panjang penyaluran tulangan tarik:

Tulangan atas terpasang adalah 6D19. Tiga buah tulangan akan dipasang menerus di sepanjang bentang, dan tiga buah tulangan akan dipotong (3D19,  $A_s = 850,59 \text{ mm}^2$ ). Kuat lentur negatif rencana dengan tulangan ini adalah :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{850,59 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} = 35,02 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 850,59 \cdot 420 \left( 537,5 - \frac{35,02}{2} \right)$$

$$= 185765283,5 \text{ Nmm} = 185,76 \text{ kNm}$$

Untuk mendapatkan lokasi kuat momen negatif rencana 185,76 kNm pada balok, ambil penjumlahan momen dengan menggunakan kombinasi beban 0,9D + kuat momen,  $M_n$  di ujung komponen.

$$M_n = 440,95 \text{ kNm}$$

$$V_u = 238,42 \text{ kNm}$$

$$w_d = 0,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 5,76 \text{ kN/m} \times 0,9 = 5,184 \text{ kN/m}$$

$$5,184x^2 - 238,42x + (440,95 - 185,76) = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-238,42 \pm \sqrt{-238,42^2 - 4(5,184)(255,19)}}{2 \times 5,184}$$

$$x_1 = 1,096 \text{ m}$$

$$x_2 = 44,895 \text{ m}$$

Momen rencana 185,76 kNm ternyata terletak pada jarak 1,096 m dari muka kolom. Data ini dapat dipakai sebagai dasar untuk menentukan cut-off point bagi tulangan 6D19. Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 12.12.3, maka :

$$x + 12d_b = 1096 + 12(19) = 1324 \text{ mm}$$

$$x + d = 1096 + 537,5 = 1633,5 \text{ mm}$$

$$x + l_n/16 = 1096 + 853,12 = 1539,7 \text{ mm}$$

Kedua nilai di atas dibandingkan dengan nilai panjang penyaluran,  $l_d$  (SNI-2847-2013 pasal 12.2.1).

Maka diambil nilai terbesar, yaitu 1700 mm..



Perhitungan panjang penyaluran tulangan D 19 berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 12.2.1 adalah sebagai berikut:  
Diketahui  $d_b = 19 \text{ mm}$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\psi_t = 1$ ;  $\lambda = 1,0$

$$\begin{aligned} l_d &= d_b \times \frac{f_y \times \Psi_t \times \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \\ &= 19 \times \frac{420 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} = 693,78 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

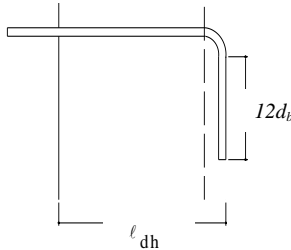
$$l_d > 300 \text{ mm}$$

$$700 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan tarik 1700 mm.

- Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik:

Menurut SNI 2847-2013 Ps.12.5.1, panjang penyaluran  $\ell_{dh}$  untuk tulangan tarik dengan kait standar  $90^\circ$  dalam beton berat normal adalah:



Gambar 4. 53 Panjang penyaluran kait balok induk

$$\ell_{dh} > 8d_b = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$\ell_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$\ell_{dh} = \frac{0,24 \times f_y \times d_b}{\sqrt{f'_c}}$$

$$= \frac{0,24 \times 420 \times 19}{\sqrt{30}} = 349,67 \text{ mm} \approx 370 \text{ mm}$$

Maka, digunakan  $\ell_{dh} = 370 \text{ mm}$

Syarat :

$$\ell_{dh} \geq 8d_b$$

$$370 \text{ mm} \geq 8 \times 19$$

$$370 \text{ mm} \geq 152 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$\ell_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$370 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Perhitungan panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 228 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 230 mm

Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 370 mm dan panjang kait 230 mm

- Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan:

$$\begin{aligned} \ell_{dh_1} &= \frac{0,24 \times f_y \times d_b}{\sqrt{f_c}} \\ &= \frac{0,24 \times 420 \times 19}{\sqrt{30}} = 349,67 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell_{dh_2} &= 0,043 \times f_y \times d_b \\ &= 0,043 \times 420 \times 19 = 343,14 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat

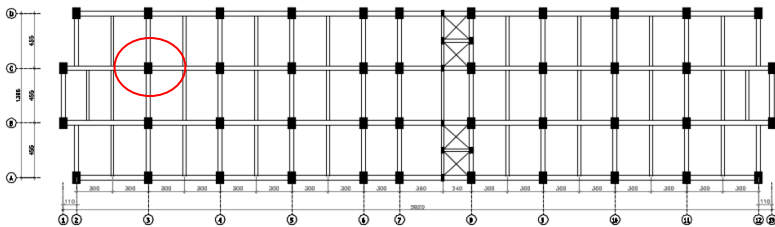
$$\ell_{dh} > 200 \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan sepanjang 350 mm

#### 4.6.2 Desain Kolom

Pada struktur bangunan Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya terdapat tiga macam jenis kolom, yaitu 60/90, 50/80 dan 50/70. Sebagai contoh perhitungan, akan didesain kolom dengan gaya aksial terbesar yang terletak pada As 3-C sebagai berikut :



Gambar 4. 54 Denah kolom yang ditinjau

##### 4.6.2.1 Data Perencanaan Kolom

Berikut data perencanaan dalam perhitungan penulangan kolom :

- Tipe kolom = K1
- Tinggi kolom = 3000 mm
- Dimensi kolom = 600 x 900 mm
- Mutu Beton, ( $f'_c$ ) = 35 MPa
- Diameter tul. Lentur = D 25 mm
- Mutu Baja, ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Diameter tul. Geser = D 13 mm
- Mutu Baja Senggang = 420 MPa
- Data output gaya dalam pada kolom dari program bantu analisis struktur ETABS. Berikut adalah gaya tekan aksial dan momen yang terjadi pada setiap kombinasi.

Tabel 4. 41 Hasil ETABS gaya dalam di kolom

No	Kombinasi	Kolom Bawah			Kolom Atas		
		Aksial (kN)	Momen X (kNm)	Momen Y (kNm)	Aksial (kN)	Momen X (kNm)	Momen Y (kNm)
1	1,4D	4850,43	-4,31	7,56	4807,73	2,24	-3,88
2	1,2D+1,6L+0,5R	5773,09	-6,33	19,93	5736,49	5,27	-10,45
3	1,2D+1,6L+0,5Lr	5781,10	-6,32	19,92	5744,50	5,26	-10,45
4	1,2D+1,6R+L	5172,54	-5,34	14,88	5135,94	4,01	-7,78
5	1,2D+1,6R+0,5W	4162,03	-3,58	7,52	4125,42	1,95	-3,02
6	1,2D+1,6Lr+0,5W	4187,65	-3,57	7,49	4151,05	1,93	-3,05
7	1,2D+1,6Lr+L	5198,17	-5,33	14,85	5161,56	3,99	-7,81
8	1,2D+W+L+0,5R	5163,90	-5,11	16,99	5127,29	4,08	-7,14
9	1,2D+W+L+0,5Lr	5171,91	-5,11	16,98	5135,30	4,08	-7,15
10	1,2D+L+0,3Ex+1Ey	4475,43	74,15	492,33	4435,41	24,28	137,50
11	1,2D+L-0,3Ex-1Ey	6632,57	-85,52	-461,35	6592,55	-15,91	-153,67
12	1,2D+L+1Ex+0,3Ey	4648,28	225,20	229,87	4608,26	20,49	56,79
13	1,2D+L-1Ex-0,3Ey	6459,72	-236,57	-198,88	6419,70	-12,11	-72,96
14	0,9D+W	3114,01	-2,54	6,96	3086,56	1,51	-1,86
15	0,9D+0,3Ex+1Ey	1658,46	77,40	481,11	1634,36	21,36	143,39
16	0,9D-0,3Ex-1Ey	3815,60	-82,27	-472,57	3791,50	-18,83	-147,77
17	0,9D+1Ex+0,3Ey	1831,31	228,45	218,64	1807,21	17,57	62,69
18	0,9D-1Ex-0,3Ey	3642,75	-233,32	-210,11	3618,65	-15,04	-67,07

#### 4.6.2.2 Cek Syarat Struktur Penahan Gempa

- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom

melebihi  $\frac{A_g f'_c}{10}$ . (SNI 2847-2013 pasal 21.3.2).

$$P_u = 6632,57 \text{ kN}$$

$$\frac{A_g f'_c}{10} = \frac{(600 \times 900) \times 35}{10} = 1890000 \text{ N} = 1890 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

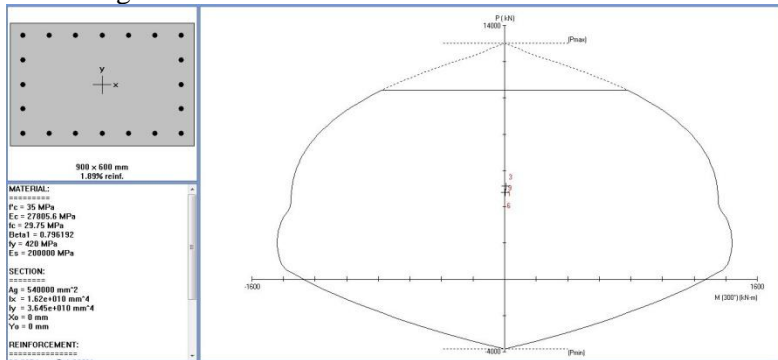
- Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm  
600mm ≥ 300mm (OK)

- Rasio lebar dan tinggi balok tidak kurang dari 0,4

$$\frac{600}{900} = 0,667 \geq 0,4 \quad (\text{OK})$$

#### 4.6.2.3 Perhitungan Penulangan Lentur

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.3.1, luas tulangan longitudinal dibatasi tidak boleh kurang dari 0,01  $A_g$  atau lebih dari 0,06  $A_g$ . Untuk mendapatkan konfigurasi tulangan memanjang, digunakan program bantu PCACOL dan diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 4. 55 Diagram interaksi kolom dari PCACOL

Rasio luas tulangan longitudinal penahan lentur dari trial error dengan PCACOL didapat konfigurasi tulangan longitudinal 20 D 25 dengan  $\rho = 1,89\%$ .

Sehingga nilai  $0,01 < \rho < 0,06$  telah terpenuhi.

Sebagaimana yang telah diperlihatkan pada Gambar 4.67, dengan rasio tulangan sebesar 1,89% yaitu 20 D 25. Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 10.9.1 batasan rasio tulangan komponen struktur tekan diijinkan dari 1% - 6 %, dengan demikian penampang telah mampu memikul kombinasi beban pada kedua sumbu.

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 10.3.6.2, kapasitas beban aksial kolom tidak boleh kurang dari beban aksial terfaktor hasil analisa struktur.

$$A_g = 600 \times 900 = 540000 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 20 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 9817,48 \text{ mm}^2$$

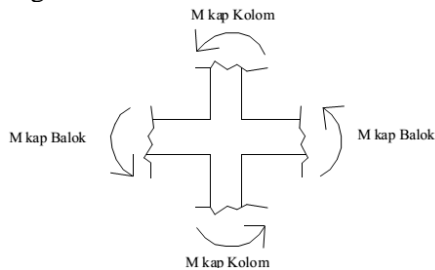
$$\begin{aligned} \phi P_n \max &= 0,8 \times \phi \times \left[ 0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st} \right] \\ &= 0,8 \times 0,65 \times [0,85 \times 35 \times (540000 - 9817,48) + 420 \times 9817,48] \\ &= 10346060 \text{ N} = 10346 \text{ kN} > 6632,57 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

#### 4.6.2.4 Persyaratan “Strong Column Weak beam”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI - 2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

Perlu dipahami bahwa  $M_{nc}$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa “*syarat strong column weak beam*”. Setelah mendapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan strong kolom weak beam.



Gambar 4. 56 Sketsa Kuat momen di HKB

- Menentukan nilai  $\sum M_{nb}$

Nilai  $\sum M_{nb}$  dicari dari jumlah  $M_{nb}^+$  dan  $M_{nb}^-$  balok yang menyatu dengan kolom pada arah x-x, sehingga perhitungan  $\sum M_{nb}$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_s \text{ tul. tarik (6D19)} &= 1701,17 \text{ mm}^2 \\ A_s \text{ tul. tarik (4D19)} &= 1134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1701,17 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} = 70,05 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{nb}^- &= A_s \times f_y \times \left( d - \frac{\alpha}{2} \right) \\ &= 1701,17 \times 420 \times \left( 534,50 - \frac{70,05}{2} \right) \\ &= 356871715,9 \text{ Nmm} = 356,87 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1134,11 \times 420}{0,85 \times 35 \times 400} = 46,70 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{nb}^+ &= A_s \times f_y \times \left( d - \frac{\alpha}{2} \right) \\ &= 1134,11 \times 420 \times \left( 534,50 - \frac{46,70}{2} \right) \\ &= 243475473,07 \text{ Nmm} = 243,48 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sehingga,  $\sum M_{nb} = M_{nb}^- + M_{nb}^+$   
 $= 356,87 + 243,48 = 600,35 \text{ kNm}$

- Menentukan nilai  $\sum M_{nc}$

Nilai  $\sum M_{nc}$  didapatkan dari program bantu PCACOL.

Berikut hasil dari  $\sum M_{nc}^{top}$  dan  $\sum M_{nc}^{bot}$  :

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)						
No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	4495.0	-9.4	11.6	-802.2	987.7	85.151
2	5227.6	-9.5	21.7	-572.7	1299.5	60.016
3	5235.7	-9.5	21.7	-572.3	1299.7	60.021
4	4717.4	-9.0	17.3	-638.3	1226.0	71.025
5	3857.6	-8.0	10.6	-779.8	1038.2	97.848
6	3883.4	-7.9	10.6	-776.6	1037.8	97.746
7	4743.1	-9.0	17.3	-637.1	1227.5	71.082
8	4709.2	-8.9	18.6	-602.7	1274.4	68.544
9	4717.3	-8.8	18.6	-602.3	1274.8	68.559
10	4103.4	65.9	322.3	333.2	1632.6	5.056
pcaColumn v3.64 © Portland Cement Association						
Standalone license. Locking Code: 4-21F5B. User: ponorogo, abc						Page 3
D:\Sarjana Sipil\TA\Bismillah Proses TA\4. Output & Excel\Output\Etabs Insyaallah fix\Lantai 1-4\Roll:29 PM						06/10/18
11:29 PM						
11	6037.4	-85.4	-286.5	-424.6	-1424.4	4.972
12	4255.8	143.1	155.4	843.0	915.4	5.892
13	5885.0	-162.6	-119.0	-938.0	-686.6	5.770
14	2886.0	-5.9	8.8	-768.0	1152.4	131.121
15	1569.5	70.3	311.2	388.8	1720.6	5.528
16	3503.4	-81.0	-298.1	-434.1	-1598.6	5.362
17	1721.9	147.5	143.7	941.5	917.3	6.382
18	3351.1	-158.1	-130.6	-975.1	-805.5	6.166
*** Program completed as requested! ***						

Gambar 4. 57 Hasil PCACOL Mn kolom atas arah x-x

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)						
No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	4807.7	2.2	-3.9	674.7	-1171.7	301.695
2	5736.5	5.3	-10.4	616.9	-1223.6	117.142
3	5794.5	5.3	-10.5	616.1	-1224.2	117.103
4	5135.9	4.0	-7.8	631.8	-1227.0	157.668
5	4125.4	1.9	-3.0	717.3	-1111.2	367.986
6	4151.1	1.9	-3.0	711.0	-1120.7	367.560
7	5161.6	4.0	-7.8	628.9	-1230.5	157.523
8	5127.3	4.1	-7.1	669.7	-1172.1	164.071
9	5135.3	4.1	-7.2	668.8	-1173.3	164.024
10	4435.4	24.3	137.5	286.3	1620.8	11.788
pcaColumn v3.64 © Portland Cement Association						
Standalone license. Locking Code: 4-21F5B. User: ponorogo, abc						Page 3
D:\Sarjana Sipil\TA\Bismillah Proses TA\4. Output & Excel\Output\Etabs Insyaallah fix\Lantai 1-4\Roll:25 PM						06/10/18
11:25 PM						
11	6592.6	-15.9	-153.7	-163.2	-1577.0	10.262
12	4608.3	20.5	56.8	502.8	1393.4	24.536
13	6419.7	-12.1	-73.0	-255.1	-1536.3	21.056
14	3086.6	1.5	-1.9	838.2	-1034.2	555.102
15	1634.4	21.4	143.4	272.2	1827.4	12.744
16	3791.5	-18.8	-147.8	-231.2	-1813.7	12.274
17	1807.2	17.6	62.7	460.9	1644.7	26.237
18	3618.7	-15.0	-67.1	-374.1	-1667.9	24.869
*** Program completed as requested! ***						

Gambar 4. 58 Hasil PCACOL Mn kolom bawah arah x-x



Dari gambar di atas untuk momen nominal arah x-x, maka :

$$\sum M_{nc}^{top} = 938 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nc}^{bot} = 255,1 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } \sum M_{nc} &= M_{nc}^{top} + M_{nc}^{bot} \\ &= 938 + 255,1 = 1193,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Cek syarat “Strong Column Weak Beam”

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

$$1193,1 \text{ kNm} \geq 1,2 \times 600,35 \text{ kNm}$$

$$1193,1 \text{ kNm} \geq 720,42 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Maka, memenuhi Persyaratan “Strong Column Weak Beam”

Tabel 4. 42 Hasil SCWB pada HBK

Arah	$\sum M_{nc}$	$1,2 \cdot \sum M_{nb}$	Keterangan
	(kNm)	(kNm)	
x-x	1193,1	720,42	OK
y-y	3001,4	571,32	OK

#### 4.6.2.5 Perhitungan Penulangan Geser

e. Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.1 daerah sendi plastis atau sepanjang,  $l_o$  yang diukur dari muka joint tidak boleh kurang dari yang terbesar dari poin berikut ini :

- Tinggi komponen struktur pada muka joint,  $h = 600 \text{ mm}$

- $\frac{l_u}{6} = \frac{2400}{6} = 400 \text{ mm}$

- $450 \text{ mm}$

Maka dipakai daerah sendi sepanjang ( $l_o$ ) =  $600 \text{ mm}$

f. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.2 Bentuk tulangan transversal bisa berupa sengkang tertutup tunggal dan rangkap. Kemudian menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3, ujung-ujung kolom sepanjang  $l_o$  harus dikekang

oleh tulangan transversal ( $A_{sh}$ ) dengan spasi sengkang ( $s_1$ ) diambil yang terkecil dari nilai berikut :

- $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil kolom =  $\frac{1}{4} \times 600 = 150mm$
- $6 \times d_b = 6 \times 25 = 150mm$
- Nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tak perlu lebih kecil dari 100mm

$$s_o = 100 + \frac{(350 - h_x)}{3}$$

$$h_x = \frac{1}{3-1} \times (600 - (2 \times 40) - 13) = 253,5mm$$

$$s_o = 100 + \frac{(350 - 253,5)}{3} = 132,17mm$$

Maka dipakai jarak sengkang ( $s_1$ ) = 100 mm dan jarak spasi sengkang pertama ( $s_2$ ) di  $l_o$  dipasang  $\frac{s_1}{2} = 50mm$

- g. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4, untuk total luas penulangan hoops persegi ( $A_{sh}$ ) tidak boleh kurang dari nilai terbesar berikut :

- $A_{sh1} = 0,3 \left( \frac{s \times b_c \times f_c'}{f_{yt}} \right) \times \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$
- $A_{sh2} = 0,09 \left( \frac{s \times b_c \times f_c'}{f_{yt}} \right)$

Dimensi penampang terbesar (arah y-y)

$$b_c = b_w - 2 \left( t + \frac{1}{2} d_b \right) = 900 - 2 \left( 40 + \frac{1}{2} 13 \right) = 807mm$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= [b_w - (2 \times t)] \times [b_w - (2 \times t)] \\ &= [900 - (2 \times 40)] \times [600 - (2 \times 40)] = 42640mm^2 \end{aligned}$$

$$A_{sh1} = 0,3 \left( \frac{100 \times 807 \times 35}{420} \right) \times \left( \frac{(600 \times 900)}{42640} - 1 \right) = 537,49 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \left( \frac{100 \times 807 \times 35}{420} \right) = 605,25 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai yang terbesar di yaitu  $A_{sh} = 605,25 \text{ mm}^2$   
Direnkanakan sengkang 5 kaki D13 – 100 sepanjang  $l_o$

$$A_{sh} = 5 \times \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \right) = 663,66 \text{ mm}^2 > 605 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Dimensi penampang terkecil (arah x-x)

$$b_c = b_w - 2 \left( t + \frac{1}{2} d_b \right) = 600 - 2 \left( 40 + \frac{1}{2} 13 \right) = 507 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{ch} &= [b_w - (2 \times t)] \times [b_w - (2 \times t)] \\ &= [900 - (2 \times 40)] \times [600 - (2 \times 40)] = 42640 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{sh1} = 0,3 \left( \frac{100 \times 507 \times 35}{420} \right) \times \left( \frac{(600 \times 900)}{42640} - 1 \right) = 337,68 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \left( \frac{100 \times 507 \times 35}{420} \right) = 380,25 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai yang terbesar di yaitu  $A_{sh} = 380,25 \text{ mm}^2$   
Direnkanakan sengkang 3 kaki D13 – 100 sepanjang  $l_o$

$$A_{sh} = 3 \times \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \right) = 398,20 \text{ mm}^2 > 380,25 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- h. Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.5, jarak spasi sengkang di luar  $l_o$  yaitu ( $s_3$ ) harus diambil yang terkecil dari nilai berikut :

- $6 \times d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- $150 \text{ mm}$

Maka dipakai jarak sengkang ( $s_3$ ) = 150 mm

#### 4.6.2.6 Perhitungan Gaya Geser Desain ( $V_e$ )

Gaya geser desain kolom sebagai berikut :

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)						
No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	4807.7	2.2	-3.9	1038.1	-1802.5	464.143
2	5736.5	5.3	-10.4	970.2	-1924.3	184.229
3	5744.5	5.3	-10.5	969.2	-1925.7	184.207
4	5135.9	4.0	-7.8	978.1	-1899.6	244.090
5	4125.4	1.9	-3.0	1089.1	-1687.0	558.698
6	4151.1	1.9	-3.0	1079.9	-1702.2	558.284
7	5161.6	4.0	-7.8	974.0	-1905.8	243.964
8	5127.3	4.1	-7.1	1036.9	-1814.8	254.033
9	5135.3	4.1	-7.2	1035.7	-1816.9	254.007
10	4435.4	24.3	137.5	443.2	2509.1	18.248
pcaColumn v3.64 © Portland Cement Association						
Standalone license. Locking Code: 4-21F5B. User: ponorogo, abc						
D:\Geser\Kolom 60x90\Kolom lt 1 atas mpr.col						
						Page 3
						06/10/18
						11:49 PM
11	6592.6	-15.9	-153.7	-277.5	-2681.3	17.448
12	4608.3	20.5	56.8	774.0	2145.0	37.770
13	6419.7	-12.1	-73.0	-423.3	-2549.6	34.944
14	3086.6	1.5	-1.9	1183.4	-1460.1	783.701
15	1634.4	21.4	143.4	331.5	2226.0	15.524
16	3791.5	-18.8	-147.8	-326.8	-2564.5	17.354
17	1807.2	17.6	62.7	578.2	2063.4	32.915
18	3618.7	-15.0	-67.1	-530.4	-2365.2	35.265
*** Program completed as requested! ***						

Gambar 4. 59 Hasil PCACOL Mpr kolom atas arah x-x

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)						
No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	4850.4	-4.3	7.6	-1032.8	1811.7	239.659
2	5773.1	-6.3	19.9	-713.5	2247.8	112.772
3	5781.1	-6.3	19.9	-713.5	2247.9	112.835
4	5172.5	-5.3	14.9	-776.2	2164.1	145.433
5	4162.0	-3.6	7.5	-918.1	1930.1	256.586
6	4187.7	-3.6	7.5	-919.4	1930.0	257.746
7	5198.2	-5.3	14.8	-776.4	2164.3	145.778
8	5163.9	-5.1	17.0	-684.1	2273.2	133.802
9	5171.9	-5.1	17.0	-684.1	2273.4	133.895
10	4475.4	74.1	492.3	386.8	2568.1	5.216
pcaColumn v3.64 © Portland Cement Association						
Standalone license. Locking Code: 4-21F5B. User: ponorogo, abc						
D:\Geser\Kolom 60x90\Kolom lt 1 bawah mpr.col						
						Page 3
						06/10/18
						11:42 PM
11	6632.6	-85.5	-461.3	-464.5	-2506.1	5.432
12	4648.3	225.2	229.9	1326.0	1353.5	5.888
13	6459.7	-236.6	-198.9	-1434.0	-1205.6	6.062
14	3114.0	-2.5	7.0	-753.1	2060.9	295.991
15	1458.5	77.4	481.1	356.5	2216.0	4.606
16	3815.6	-82.3	-472.6	-431.1	-2476.3	5.240
17	1831.3	228.5	218.6	1234.1	1181.1	5.402
18	3642.8	-233.3	-210.1	-1361.6	-1226.2	5.836
*** Program completed as requested! ***						

Gambar 4. 60 Hasil PCACOL Mpr kolom bawah arah x-x

$$V_{e3,4} = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u} = \frac{578,2 + 1234,1}{2,4} = 755,12 \text{ kN}$$

Gaya geser desain balok sebagai berikut :

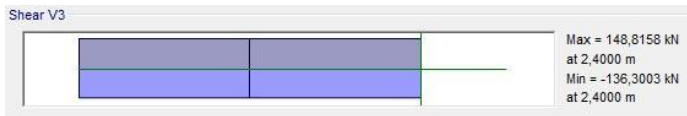
$$V_{e1,2} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_u} = \frac{440,95 + 302,65}{7100 - 600} = 114,4 \text{ kN}$$

Kontrol :

- $V_{e3,4} < V_{e1,2}$   
 $755,12 \text{ kN} < 114,4 \text{ kN}$   
 maka dipakai  $V_e = 114,4 \text{ kN}$
- $V_e > V_{\text{analisis struktur}}$



Gambar 4. 61 Hasil ETABS gaya geser arah x-x



Gambar 4. 62 Hasil ETABS gaya geser arah y-y

Kontribusi  $V_c$  memikul  $V_e$  tergantung pada nilai  $V$  dan  $P_u$  pada balok.

$$V_e = 114,4 \text{ kN}$$

Arah x-x

$$V_{\text{analisis struktur}} \leq 0,5 \times V_e$$

$$105,78 \text{ kN} \leq 0,5 \times 114,4 = 57,2 \text{ kN} \quad (\text{NOT OK})$$

$$P_u \leq \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$6632570,8 \text{ N} \leq \frac{(600 \times 900) \times 35}{20} = 360000 \text{ N} \quad (\text{NOT OK})$$

Maka Nilai  $V_c$  (Kuat geser yang disumbangkan oleh beton) :

$$A_g = 600 \times 900 = 540000 \text{ mm}^2$$

$$d = 700 - 40 - 13 - (0,5 \times 25) = 634,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{P_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{6632570,8}{14 \times 540000} \right) \sqrt{35} \times 600 \times 534,5 \\ &= 605509,8 \text{ N} = 605,51 \text{ kN} \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 3 kaki D13 – 100 sepanjang  $l_o$ , dengan

$$A_{sh} = 398,20 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{398,20 \times 420 \times 534,5}{100} = 893919,18 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi(V_s + V_c) &= 0,75(89392 + 605,51) \\ &= 1124,57 \text{ kN} > V_e = 114,4 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Arah y-y

Direncanakan sengkang 5 kaki D13 – 100 sepanjang  $l_o$ , dengan

$$A_{sh} = 663,66 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_s \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{663,66 \times 420 \times 834,5}{100} = 2326061,93 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi(V_s + V_c) &= 0,75(232606 + 605,51) \\ &= 2198,58 \text{ kN} > V_e = 114,4 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi,  $A_{sh}$  terpasang dengan sengkang 3 kaki D13 – 100 arah x-x dan 5 kaki D13 – 100 arah y-y berdasarkan persyaratan SNI 2847-2013 pasal 21.6.4.4 di  $l_o$  mampu menahan geser

#### 4.6.2.7 Perhitungan Panjang Panyaluran

Panjang penyaluran disalurkan pada lokasi yang sama, maka yang digunakan menurut SNI 2847-2013 pasal 12.15.1 tergolong kelas B, panjang minimum penyaluran adalah 1,3 $l_d$ .

Perhitungan panjang penyaluran tulangan D 25 berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 12.2.2 adalah sebagai berikut:

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\Psi_t = 1 \text{ (situasi lainnya)}$$

$$\Psi_e = 1 \text{ (tulangan tanpa pelapis)}$$

$$\Psi_s = 1 \text{ (tulangan lebih besar dari D-22)}$$

$$\lambda = 1 \text{ (Beton Normal)}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0$$

$$c_b = \text{a) } 40 + 13 + \frac{25}{2} = 65,5 \text{ (menentukan)}$$

$$\text{b) } \frac{600 - 2(40 + 13) - (25 \times 5)}{5 - 1} = 92,25$$

$$l_d = \left[ \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \times \frac{\Psi_t \times \Psi_e \times \Psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b$$

$$= \left[ \frac{420}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{\left( \frac{65,5 + 0}{25} \right)} \right] 25$$

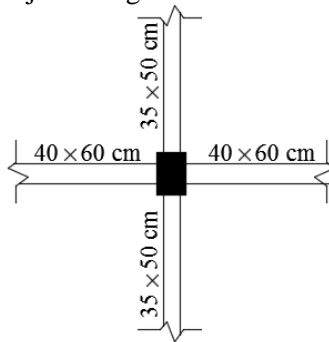
$$= 615,83$$

$$l_d = 1,3 \times 615,83 \text{ mm} = 800,57 \text{ mm} \approx 810 \text{ mm}$$

Jadi, dipakai panjang penyaluran sepanjang 810 mm.

#### 4.6.3 Hubungan Balok Kolom

Sesuai dalam ketentuan yang telah diatur oleh SNI bahwa suatu joint telah diatur secara lengkap dalam SNI 2847-2013 pasal 21.7 yaitu mengenai joint rangka momen khusus



Gambar 4. 63 Denah joint balok dan kolom

##### 4.6.3.1 Data Perencanaan HBK

Berikut data perencanaan dalam perhitungan penulangan kolom :

- Lokasi HBK = tengah
- Tinggi kolom = 3000 mm
- Dimensi kolom = 600×900 mm
- Mutu Beton, ( $f'_c$ ) = 35 MPa
- Mutu Baja, ( $f_y$ ) = 420 MPa
- D tul. Memanjang = D 25 mm
- D tul. Sengkang = D 13 mm
- Tulangan balok arah sumbu x-x
  - $M_{pr \text{ kanan}}$  = 440,05 kNm
  - $M_{pr \text{ kiri}}$  = 302,65 kNm
  - $A_s \text{ tarik (6D19)}$  = 1701,17 mm<sup>2</sup>



- $A_s \text{ tekan (4D19)} = 1134,11 \text{ mm}^2$
- Tulangan balok arah sumbu y-y
  - $M_{pr \text{ kanan}} = 294,58 \text{ kNm}$
  - $M_{pr \text{ kiri}} = 184,19 \text{ kNm}$
  - $A_s \text{ tarik (5D19)} = 1417,64 \text{ mm}^2$
  - $A_s \text{ tekan (3D19)} = 850,59 \text{ mm}^2$

#### 4.6.3.2 Cek Syarat Panjang Joint

Dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok  $> 20 d_b$

$$600 \text{ mm} > 20 d_b = 20 \times 19 = 380 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$900 \text{ mm} > 20 d_b = 20 \times 19 = 380 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

#### 4.6.3.3 Luas efektif Joint

a) Luas efektif joint arah sumbu x-x

$$\text{- Lebar joint efektif} = b+h = 400 + 600 = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{- Lebar joint efektif} = b+2x = 400 + 2\left(\frac{900-400}{2}\right) = 900 \text{ mm}$$

$$\text{- Lebar joint efektif} = \frac{3}{4} \times bk = \frac{3}{4} \times 900 = 675 \text{ mm}$$

Maka dipakai lebar joint efektif 675 mm, sehingga :

$$\text{Luas joint efektif} = 675 \times 600 = 405000 \text{ mm}^2$$

b) Luas efektif joint arah sumbu y-y

$$\text{- Lebar joint efektif} = b+h = 350 + 900 = 1250 \text{ mm}$$

$$\text{- Lebar joint efektif} = b+2x = 350 + 2\left(\frac{600-350}{2}\right) = 600 \text{ mm}$$

$$\text{- Lebar joint efektif} = \frac{3}{4} \times bk = \frac{3}{4} \times 900 = 450 \text{ mm}$$

Maka dipakai lebar joint efektif 450 mm, sehingga :

$$\text{Luas joint efektif} = 450 \times 900 = 405000 \text{ mm}^2$$

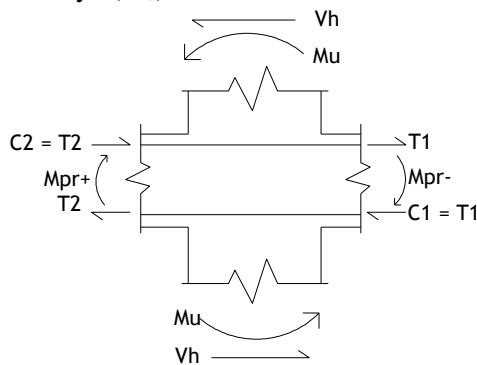
#### 4.6.3.4 Penulangan Transversal HBK

Kolom dianggap terkekang bila ada empat balok yang merangka pada keempat sisi HBK tersebut, maka berdasarkan hasil desain kolom sebelumnya didapatkan tulangan sengkang sebagai berikut :

- Arah sumbu x-x 3 kaki D13-100 mm
- Arah sumbu y-y 3 kaki D13-100 mm

#### 4.6.3.5 Kuat Geser HBK

Gaya geser ( $V_h$ ) di kolom dihitung dari  $M_{pr}$  kedua ujung balok yang menyatu di HBK. Panjang kolom atas dan bawah sama, maka masing-masing ujung kolom memikul jumlah  $M_{pr}$  balok sama besarnya ( $M_u$ )



Gambar 4. 64 Sketsa gaya dalam yang bekerja di HBK

- Arah sumbu x-x
- $h_n = 3 - 0,6 = 2,4 \text{ m}$
- $M_{pr+} = 302,65 \text{ kNm}$
- $M_{pr-} = 440,95 \text{ kNm}$

$$M_u = \left( \frac{M_{pr+} - M_{pr-}}{2} \right) = \left( \frac{302,65 - 440,95}{2} \right) = 371,8 \text{ kNm}$$

$$V_h = \left( \frac{M_u}{\frac{h_n}{2}} \right) = \left( \frac{371,8}{\frac{2,4}{2}} \right) = 309,83 \text{ kN}$$

Luas tulangan yang bekerja pada  $T_1$  adalah  $A_{s1}$  (6D19) = 1701,17 mm<sup>2</sup>. Untuk  $T_2$  adalah  $A_{s2}$  (4D19) = 1134,11 mm<sup>2</sup>. Sehingga gaya yang bekerja pada  $T_1$  dan  $T_2$  di HBK :

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 1701,17 \times 420 = 893115,52 \text{ N} = 893,11 \text{ kN} \\ T_2 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 1134,11 \times 420 = 595410,35 \text{ N} = 595,41 \text{ kN} \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan meninjau keseimbangan gaya dalam arah horizontal diperoleh.

$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 893,11 + 595,41 - 309,83 = 1178,69 \text{ kN} \end{aligned}$$

Besar  $V_j$  tidak boleh melebihi besar  $V_n$  berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.7.4.1.

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \sqrt{f_c'} \times A_j \\ &= 1,7 \times \sqrt{35} \times 405000 = 4073220,93 \text{ N} = 4073,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi V_n &> V_j \\ 0,75 \times 4073,22 \text{ kN} &> 1178,69 \text{ kN} \\ 305492 \text{ kN} &> 1178,69 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Arah sumbu y-y

$$h_n = 3 - 0,6 = 2,4 \text{ m}$$

$$M_{pr+} = 184,19 \text{ kNm}$$

$$M_{pr-} = 294,58 \text{ kNm}$$

$$M_u = \left( \frac{M_{pr}^+ - M_{pr}^-}{2} \right) = \left( \frac{184,19 - 294,58}{2} \right) = 239,39 \text{ kNm}$$

$$V_h = \left( \frac{M_u}{\frac{h_n}{2}} \right) = \left( \frac{239,39}{\frac{2,4}{2}} \right) = 199,49 \text{ kN}$$

Luas tulangan yang bekerja pada  $T_1$  adalah  $A_{s1}$  (5D19) = 1417,64 mm<sup>2</sup>. Untuk  $T_2$  adalah  $A_{s2}$  (3D19) = 850,59 mm<sup>2</sup>. Sehingga gaya yang bekerja pada  $T_1$  dan  $T_2$  di HBK :

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 1417,64 \times 420 = 744262,93 \text{ N} = 744,26 \text{ kN} \\ T_2 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ &= 1,25 \times 850,59 \times 420 = 446557,76 \text{ N} = 446,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan meninjau keseimbangan gaya dalam arah horizontal diperoleh.

$$\begin{aligned} V_j &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 744,26 + 446,56 - 199,49 = 991,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

Besar  $V_j$  tidak boleh melebihi besar  $V_n$  berdasarkan SNI 2847 2013 Pasal 21.7.4.1.

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \sqrt{f_c'} \times A_j \\ &= 1,7 \times \sqrt{35} \times 405000 = 4073220,93 \text{ N} = 4073,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

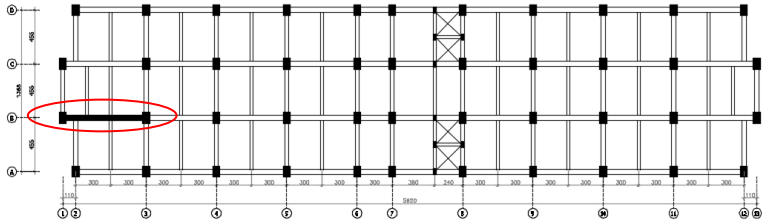
Kontrol:

$$\begin{aligned} \phi V_n &> V_j \\ 0,75 \times 4073,22 \text{ kN} &> 991,33 \text{ kN} \\ 305492 \text{ kN} &> 991,33 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

## 4.7 Desain Struktur Bangunan Bawah

### 4.7.1 Desain Sloof

Dalam struktur bangunan ini terdapat dua macam sloof, yaitu sloof 40/60 dan 35/50. Berikut ini perhitungan desain penulangan sloof 40/60 :

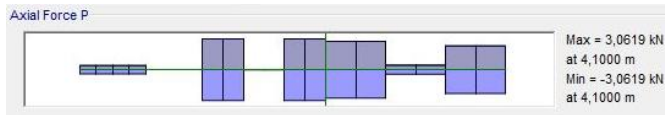


Gambar 4. 65 Denah sloof yang ditinjau

#### 4.7.1.1 Data Perencanaan Sloof

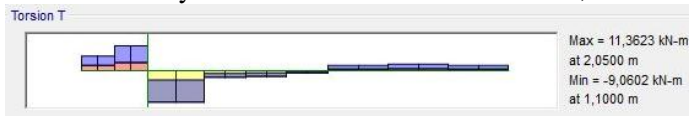
Berikut data perencanaan dalam perhitungan penulangan balok induk :

- Tipe Balok = S1
- Dimensi Balok = 40/60 mm
- Bentang Balok = 7100 mm
- Mutu Beton ( $f'_c$ ) = 30 Mpa
- Selimut Beton = 40 mm
- Diameter Tul. Lentur = 19 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 Mpa
- Diameter Tul. Torsi = 16 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Diameter Tul. Geser = 13 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 420 MPa
- Data output gaya dalam pada balok induk dari program bantu analisis struktur ETABS. Berikut adalah gaya tekan aksial, torsi, geser, momen tumpuan dan lapangan :
  - Gaya aksial terfaktor = 3,06 kN



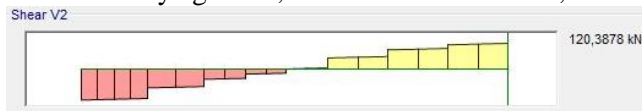
Gambar 4. 66 Gaya aksial sloof

○ Gaya torsi = 11,36 kN



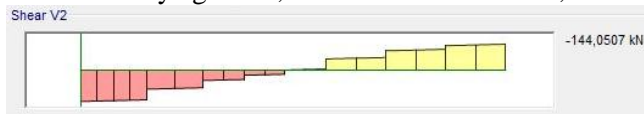
Gambar 4. 67 Gaya torsi sloof

○ Gaya geser 1,2D+L kanan = 120,38 kN



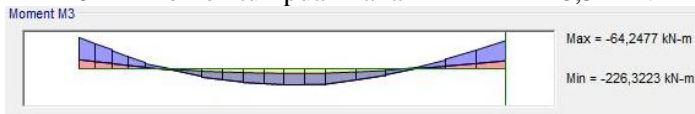
Gambar 4. 68 V1,2D+L tumpuan kanan sloof

○ Gaya geser 1,2D+L kiri = 144,05 kN



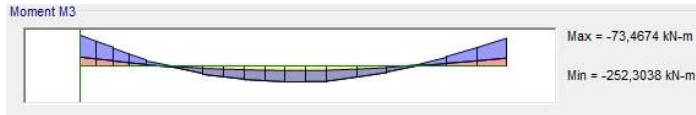
Gambar 4. 69 V1,2D+L tumpuan kiri sloof

○ Momen tumpuan kanan = 228,32 kNm



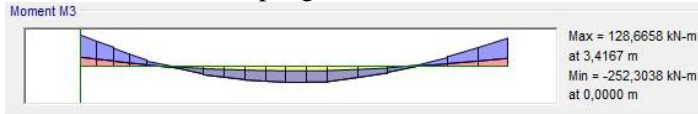
Gambar 4. 70 Mu tumpuan kanan sloof

○ Momen tumpuan kiri = 252,30 kNm



Gambar 4. 71 Mu tumpuan kiri sloof

$$\circ \quad \text{Momen lapangan} = 128,66 \text{ kNm}$$



Gambar 4. 72 Mu lapangan sloof

#### 4.7.1.2 Cek Syarat Struktur Penahan Gempa

Sebelum perhitungan penulangan balok, harus dilakukan kontrol terhadap syarat komponen struktur balok yang memenuhi persyaratan SRPMK sebagai berikut :

- Gaya tekan aksial terfaktor pada balok,  $P_u < \frac{A_g \times f_c'}{10}$

$$3,06 \text{ kN} < \frac{(400 \times 600) \times 30}{10} = 720 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$
- Bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n \geq 4 \times d$

$$d = h - \text{decking} - \text{Senggang} - \left(\frac{1}{2} \phi_{\text{lentur}}\right)$$

$$= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm}\right)$$

$$= 537,5 \text{ mm}$$

$$l_n = 7100 \text{ mm} - (2 \times 300 \text{ mm}) = 6500 \text{ mm}$$

$$6500 \text{ mm} \geq 4 \times 537,5 \text{ mm} = 2150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$
- Lebar komponen,  $b_w \geq 0,3 \times h$  atau 250 mm

$$400 \text{ mm} \geq 0,3 \times 600 \text{ mm} = 180 \text{ mm} \text{ atau } 250 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$
- Lebar efektif maks,  $b_w \leq 3 \times c_2$  atau  $c_2 + 2(0,75 \times c_1)$

$$400 \text{ mm} \leq 3 \times 900 = 2700$$

$$400 \text{ mm} \leq 900 + 2(0,75 \times 600) = 1800 \quad (\text{OK})$$

#### 4.7.1.3 Perhitungan Penulangan Torsi

Berdasarkan hasil out put diagram torsi pada program analisis struktur diperoleh momen puntir terbesar :

$$T_u = 11,36 \text{ kNm}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$T_n = \frac{11,36}{0,75} = 15,15 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (400 + 600) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Cek kebutuhan tulangan torsi

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.5.2.2, pada struktur statis tak tentu dimana reduksi momen torsi pada komponen struktur dapat terjadi akibat redistribusi gaya-gaya dalam dengan adanya keretakan.  $T_u$  maksimum boleh direduksi menjadi nilai yang diberikan sebagai berikut :

$$T_{u_{\min}} = \phi \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left( \frac{240000^2}{2000} \right) = 9,859 \text{ kNm}$$

$$T_{u_{\max}} = \phi \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times \left( \frac{240000^2}{2000} \right) = 39,436 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$T_{u_{\min}} > T_u \rightarrow \text{tidak perlu tulangan torsi}$$

$$T_{u_{\min}} < T_u \rightarrow \text{perlu tulangan torsi}$$

$$T_{u_{\min}} < T_u < T_{u_{\max}}$$

$$9,859 \text{ kNm} < 11,36 \text{ kNm} < 39,439 \text{ kNm}$$

Maka perlu tulangan torsi dan dipakai  $T_u = 11,36 \text{ kNm}$



Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) \\
 &= (400 - 2 \times 40) - 13 \times (600 - (2 \times 40) - 13) \\
 &= 155649 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times ((b_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2t_{decking} - \phi_{geser})) \\
 &= 2 \times ((400 - (2 \times 40) - 13) + (700 - (2 \times 40) - 13)) \\
 &= 1628 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$V_u = 180,34 \text{ kN (dari analisis struktur ETABS)}$$

$$\begin{aligned}
 &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \sqrt{\Phi \left(\frac{1\sqrt{f_c'}}{6}\right) + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}} \\
 &\sqrt{\left(\frac{180339}{400 \cdot 537,5}\right)^2 + \left(\frac{11362300 \cdot 1628}{1,7 \cdot 155649^2}\right)^2} \leq \sqrt{0,75 \left(\frac{1\sqrt{30}}{6}\right) + \frac{2\sqrt{30}}{3}} \\
 &0,951 \leq 3,184 \quad \quad \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Luas tulangan puntir untuk lentur

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\
 &= 0,85 \times 155649 \text{ mm}^2 \\
 &= 132301,65 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta} \\
 &= \frac{11362300}{2 \times 132301,65 \times 420 \times \cot 45} \\
 &= 0,136
 \end{aligned}$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y}\right) \cot^2 \theta$$

$$A_l = 0,136 \times 1628 \left(\frac{420}{420}\right) \cot^2 45$$

$$A_l = 221,93 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan torsi longitudinal minimum

$$A_{l \min} = \frac{5A_{cp}\sqrt{f_c'}}{12f_y} - \frac{A_t}{s} Ph \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$A_{l \min} = \frac{5 \times 240000 \sqrt{30}}{12 \times 420} - 0,136 \times 1628 \times \frac{420}{420}$$

$$A_{l \min} = 1082,17 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l \text{ perlu}} \leq A_{l \min}$  maka gunakan  $A_{l \min}$

$A_{l \text{ perlu}} \geq A_{l \min}$  maka gunakan  $A_{l \text{ perlu}}$

$A_{l \text{ perlu}} > A_{l \min}$

$$221,93 \text{ mm}^2 > 1082,17 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan torsi perlu sebesar  $1082,17 \text{ mm}^2$

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1082,17 \text{ mm}^2}{4} = 270,54 \text{ mm}^2$$

Maka masing-masing sisi balok mendapat tambahan luasan tulangan torsi sebesar  $270,54 \text{ mm}^2$

$$2 \times \frac{A_l}{4} = 2 \times 270,54 = 541,08 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan 2D19

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times n \\ &= 0,25 \times \pi \times 19^2 \times 2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\ 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 541,08 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan torsi yaitu 2 D19

#### 4.7.1.4 Perhitungan Penulangan Lentur

##### Rasio Tulangan

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 \times (30 - 28)}{7} = 0,836$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} = 0,0298 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0298 = 0,0224$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

### **Daerah Tumpuan**

Momen terbesar yang terjadi pada tumpuan yaitu akibat kombinasi : Envelope

$$\begin{aligned} X_b &= \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 420} \right) \times 537,5 \\ &= 316,176 \text{ mm} \\ X_{\text{max}} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 316,176 \text{ mm} \\ &= 237,132 \text{ mm} \\ X_{\text{min}} &= d' \\ &= 600 - 537,5 \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka garis netral rencana  $X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f'_c \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,836 \times 100 \\ &= 852429 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Asc} = \frac{C_c'}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{852429}{420} \\
 &= 2029,592 \text{ mm}^2 \\
 \text{Mnc} &= \text{Asc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 2029,592 \times 420 \times \left( 537,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 422561020,41 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu}_{\text{tumpuan}} &= 252,30 \text{ kNm} \\
 \text{Mn} &= \frac{\text{Mux}}{\Phi} \\
 &= \frac{252,30}{0,9} \\
 &= 280,34 \text{ kNm} = 280337555,56 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

#### Kontrol momen nominal tulangan lentur

$\text{Mns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$\text{Mns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 \text{Mns} &= \text{Mn} - \text{Mnc} \\
 &= 280337555,56 \text{ Nmm} - 422561020,41 \text{ Nmm} \\
 &= -142223464,85 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$\text{Mns} < 0$  (tidak perlu tulangan lentur tekan)

#### Desain Tulangan Lentur Tarik

$$\text{Mn}_{\text{perlu}} = 280,34 \text{ kNm} = 280337555,56 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{\text{Mn}}{b \cdot d_x^2} = \frac{280337555,56}{400 \times 537,5^2} = 2,43 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{16,47} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,47 \cdot 2,43}{420}} \right] \\
 &= 0,0061
 \end{aligned}$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0033 < 0,0061 < 0,0298 \quad (\text{OK})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \left( \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \right) + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (0,0061 \times 400 \times 537,5) + 270,54$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 1577,81 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan pakai D19

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{\text{tulangan pakai}}}}$$

$$n = \frac{1577,81 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$$n = 6 \text{ buah}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n_{\text{tulangan}}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 6$$

$$= 1701,17 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{\text{pasang}}} \geq A_{s_{\text{perlu}}}$$

$$1701,17 \text{ mm}^2 \geq 1577,81 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, dipasang tulangan tarik 6D19

### Desain Tulangan Lentur Tekan

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan torsi.

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \frac{A_l}{4}$$

$$= 270,54 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{2} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

Tulangan lentur tarik 6D19

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n_{\text{tulangan}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 6 \\
 &= 1701,17 \text{ mm}^2 \\
 A_s'_{\text{perlu}} &= \frac{1}{2} \times 1701,17 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan D19

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s'}{A_s \text{ tulangan pakai}} \\
 n &= \frac{850,59 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)} \\
 n &= 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan sisi bawah

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \text{ tulangan} \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 4 \\
 &= 1134,11 \text{ mm}^2 \geq 850,59 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan tekan 4D19

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{\text{maks}} &\leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1} \\
 S_{\text{maks}} &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (6 \times 19)}{6-1} \\
 S_{\text{maks}} &= 36 \text{ mm} \\
 S_{\text{maks}} &\geq S_{\text{sejajar}} \\
 36 \text{ mm} &\geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n-1}$$

$$S_{maks} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 51,2 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$51,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

#### Cek momen nominal penampang

$$a = \left( \frac{(A_s \text{ tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(1701,17 \times 420)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 70,05 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 70,05 \\ &= 714492,42 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n\text{pasang}} &= C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 714492,42 \times \left( 537,5 - \frac{70,05}{2} \right) \\ &= 359015193,16 \text{ Nmm} = 359,015 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} M_{n\text{pasang}} &\geq M_{n\text{perlu}} \\ 359,015 \text{ kNm} &\geq 280,34 \text{ kNm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah tumpuan dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik serat atas} = 6 \text{ D19}$$

$$\text{Tulangan tekan serat bawah} = 4 \text{ D19}$$

#### Daerah Lapangan

Momen terbesar yang terjadi pada lapangan yaitu akibat kombinasi : Envelope

$$\begin{aligned} X_b &= \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \times d \\ &= \left( \frac{600}{600 + 420} \right) \times 537,5 \\ &= 316,176 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 316,176 \text{ mm} \\
 &= 237,132 \text{ mm} \\
 X_{\min} &= d' \\
 &= 600-537,5 \\
 &= 62,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Garis netral rencana } X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,836 \times 100 \\
 &= 852429 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= \frac{C_c'}{f_y} \\
 &= \frac{852429}{420} \\
 &= 2029,592 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 &= 2029,592 \times 420 \times \left( 537,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 &= 422561020,41 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_{u_{\text{lapangan}}} = 128,66 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{128,66 \text{ kNm}}{0,9} \\
 &= 142,96 \text{ kNm} = 142962000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

#### Kontrol momen nominal tulangan lentur

$M_{ns} > 0 \rightarrow$  perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$  tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 142962000 \text{ Nmm} - 422561020,41 \text{ Nmm} \\
 &= -279599020,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$



Maka,

$M_{ns} < 0$  ( tidak perlu tulangan lentur tekan)

### Desain Tulangan Lentur Tarik

$$M_{n_{\text{perlu}}} = 142,96 \text{ kNm} = 142962000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_x^2} = \frac{142962000}{400 \times 537,5^2} = 1,24 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{16,47} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,47 \cdot 1,24}{420}} \right]$$

$$= 0,0030$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0033 < 0,0030 < 0,0298 \quad (\text{maka dipakai } \rho_{\min})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (\rho_{\text{perlu}} \times b \times d) + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = (0,0033 \times 400 \times 537,5) + 270,54$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 987,21 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan pakai D19

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s \text{ tulangan pakai}}}$$

$$n = \frac{987,21 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n \cdot \text{tulangan}$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 4$$

$$= 1134,11 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 1134,11 \text{ mm}^2 &\geq 987,21 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan tarik 4D19

### Desain Tulangan Lentur Tekan

Luasan perlu tulangan tekan berasal dari penambahan luasan tulangan torsi

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \frac{A_l}{4} \\
 &= 270,54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.(1) syarat kekuatan lentur pada balok adalah sebagai berikut :

$$M \text{ lentur lapangan (+) (-)} \geq \frac{1}{4} \times M \text{ lentur terbesar}$$

Tulangan lentur tarik 6D19

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.tulangan \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 6 \\
 &= 1701,17 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s' \text{ perlu}} &= \frac{1}{4} \times 1701,17 \\
 &= 425,29 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan D19

$$n = \frac{A_{s'}}{A_{s \text{ tulangan pakai}}}$$

$$n = \frac{425,29 \text{ mm}^2}{0,25 \times \pi \times (19^2)}$$

$$n = 3 \text{ buah}$$

Jadi, dipasang tulangan tekan 3D19

Luasan tulangan lentur tekan sisi atas

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= 0,25 \times 3,14 \times D^2 \times n.tulangan \\
 &= 0,25 \times 3,14 \times (19^2) \times 3 \\
 &= 850,59 \text{ mm}^2 \geq 425,29 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

### Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Tulangan tarik

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 72,67 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$72,67 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$S_{maks} = 118,5 \text{ mm}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$118,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Cek momen nominal penampang

$$a = \left( \frac{(A_s \text{ tarik} \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left( \frac{(1134,11 \times 420)}{0,85 \times 30 \times 400} \right)$$

$$a = 46,70$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 46,70 \\ &= 476328,28 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Mn_{pasang} = Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 476328,28 \times \left( 537,5 - \frac{46,70}{2} \right) \\
 &= 244904457,90 \text{ Nmm} = 244,90 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 M_{n_{\text{pasang}}} &\geq M_{n_{\text{perlu}}} \\
 244,90 \text{ kNm} &\geq 142,96 \text{ kNm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan dipasang tulangan :

Tulangan tarik serat bawah = 4 D19

Tulangan tekan serat atas = 3 D19

#### 4.7.1.5 Perhitungan Penulangan Geser

##### Momen Nominal Kiri

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times (1,25 f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 a &= \frac{1701,17 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 a &= 87,56 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr \text{ kiri}} &= A_s \text{ pasang} \times 1,25 f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 M_{pr \text{ kiri}} &= 1701,17 \times 1,25 \times 420 \times \left( 537,5 - \frac{87,56}{2} \right) \\
 M_{pr \text{ kiri}} &= 440948841 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

##### Momen Nominal Kanan

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ pasang} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 a &= \frac{1134,11 \times 1,25 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\
 a &= 58,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr \text{ kanan}} &= A_s' \text{ pasang} \times 1,25 f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 M_{pr \text{ kanan}} &= 1417,6 \times 1,25 \times 420 \times \left( 537,5 - \frac{58,37}{2} \right)
 \end{aligned}$$

$$M_{pr \text{ kanan}} = 302654950 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan hasil output ETABS akibat kombinasi 1,2D+L

$$V_u = 144,05 \text{ kN} = 144050,7 \text{ N}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.3.2.3

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + \frac{W_u \cdot L_n}{2} \\ &= \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{L_n} + V_u \\ &= \frac{44094884 + 302654950}{\left(7100 - \frac{600}{2} - \frac{600}{2}\right)} + 144050,7 \\ &= 258451,28 \text{ N} \end{aligned}$$

### **Penulangan Geser Tumpuan Balok**

$$V_{e1} = 258451,28 \text{ N}$$

Kontribusi  $V_c$  memikul  $V_e$  tergantung pada nilai  $V$  dan  $P_u$  pada balok.

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} \\ &= \frac{44094884 + 302654950}{7100 - 600} \\ &= 114400,58 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{\text{sway}} \geq 0,5 V_{e1}$$

$$114400,58 \text{ N} \geq 0,5 \times 258451,28 = 129225,64 \text{ N} \quad (\text{NOT OK})$$

$$P_u \leq \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$3061,9 \text{ N} \leq \frac{(400 \times 600) \times 30}{20} = 360000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Maka Nilai  $V_c$  (Kuat geser yang disumbangkan oleh beton) :

$$V_c = 0,17\sqrt{f'c}b_w d = 0,17\sqrt{30} \times 400 \times 537,5 = 196267,25 \text{ N}$$

$$\phi = 0,75 \quad (\text{SNI-2847-2013 pasal 9.3.2.3})$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{258451,28}{0,75} - 196267,25 = 148334,46 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = \frac{2}{3}\sqrt{f'c}b_w d = \frac{2}{3}\sqrt{30} \times 400 \times 537,5 = 785069 \text{ N}$$

$$V_s \leq V_{s \max} \quad (\text{OK})$$

- Menentukan  $\frac{A_v}{s}$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{148334,46}{420 \times 537,5} = 0,657 \text{ mm}$$

- Menentukan  $\frac{A_v}{s} + 2\frac{A_t}{s}$

$$\frac{A_v}{s} + 2\frac{A_t}{s} \rightarrow 0,657 + (2 \times 0,136) = 0,929 \text{ mm}$$

Direncanakan sengkang 2 kaki D13-100 mm

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{100} = 2,655 \text{ mm} > 0,929 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai sengkang 2 kaki D13-100 mm (tumpuan)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.1, hoops ini harus dipasang sepanjang 2h dari sisi muka kolom terdekat.

$$2 \times h = 2 \times 600 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.2, hoops pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat dan berikutnya dipasang dengan spasi terkecil dari :

- $d/4 = 537,5/4 = 134,37 \text{ mm}$
- $6 \times D_{tul} = 6 \times 19 = 114 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

- 150 mm

Jadi, dipasang 2 kaki D13-100 mm sepanjang 1200 mm dari muka kolom, dimana tulangan geser pertama dipasang 50 mm dari muka kolom.

### **Penulangan Geser Lapangan Balok**

Pemasangan tulangan geser di luar sendi plastis ( $>2h$ ). Untuk daerah di daerah luar sendi plastis ini, kuat geser beton diperhitungkan sebesar :

$$\frac{V_{e2}}{\frac{1}{2}l_n - 2h} = \frac{V_{e1}}{\frac{1}{2}l_n}$$

$$V_{e2} = \frac{V_{e1} \left( \frac{1}{2}l_n - 2h \right)}{\frac{1}{2}l_n}$$

$$V_{e2} = \frac{258451,28 \times \left( \frac{1}{2}6500 - 2 \times 600 \right)}{\frac{1}{2} \times 6500} = 163023,1 \text{ N}$$

Kontribusi  $V_c$  memikul  $V_e$  tergantung pada nilai  $V$  dan  $P_u$  pada balok.

$$V = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n}$$

$$= \frac{44094884 + 302654950}{7100 - 600}$$

$$= 114400,58 \text{ N}$$

$$V \geq 0,5V_{e2}$$

$$114400,58 \text{ N} \geq 0,5 \times 163023,11 = 81511,55 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

$$P_u \leq \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$3061,9 \text{ N} \leq \frac{(400 \times 600) \times 30}{20} = 360000 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Maka Nilai  $V_c = 0$  :

$$\phi = 0,75 \quad (\text{SNI-2847-2013 pasal 9.3.2.3})$$

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c = \frac{163023,11}{0,75} - 0 = 217364,15 \text{ N}$$

$$V_{s \max} = \frac{2}{3} \sqrt{f'c} b_w d = \frac{2}{3} \sqrt{30} \times 400 \times 537,5 = 785069 \text{ N}$$

$$V_s \leq V_{s \max} \quad (\text{OK})$$

- Menentukan  $\frac{A_v}{s}$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{217364,15}{420 \times 537,5} = 0,963 \text{ mm}$$

- Direncanakan sengkang 2 kaki D13-250 mm

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{250} = 1,062 \text{ mm} > 0,963 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai sengkang 2 kaki D13-250 mm (lapangan)

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.5.3.4, untuk daerah di luar sendi plastis, sengkang dengan kait gempapada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang komponen struktur.

- $d/2 = 537,5/2 = 268,75 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi, dipasang 2 kaki D13-250 mm di luar sendi plastis.

#### 4.7.1.6 Perhitungan Panjang Penyaluran

- Panjang penyaluran tulangan tarik:



Tulangan atas terpasang adalah 6D19. Tiga buah tulangan akan dipasang menerus di sepanjang bentang, dan tiga buah tulangan akan dipotong (3D19,  $A_s = 850,59 \text{ mm}^2$ ). Kuat lentur negatif rencana tulangan ini adalah :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{850,59 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} = 35,02 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 850,59 \cdot 420 \left( 537,5 - \frac{35,02}{2} \right)$$

$$= 185765283,5 \text{ Nmm} = 185,76 \text{ kNm}$$

Untuk mendapatkan lokasi kuat momen negatif rencana 185,76 kNm pada balok, ambil penjumlahan momen dengan menggunakan kombinasi beban 0,9D + kuat momen,  $M_n$  di ujung komponen.

$$M_n = 440,95 \text{ kNm}$$

$$V_u = 258,45 \text{ kNm}$$

$$w_d = 0,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 5,76 \text{ kN/m} \times 0,9 = 5,184 \text{ kN/m}$$

$$5,184x^2 - 258,45x + (440,95 - 185,76) = 0$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-258,45 \pm \sqrt{-258,45^2 - 4(5,184)(255,19)}}{2 \times 5,184}$$

$$x_1 = 1,008 \text{ m}$$

$$x_1 = 48,85 \text{ m}$$

Momen rencana 185,76 kNm ternyata terletak pada jarak 1,008 m dari muka kolom. Data ini dapat dipakai sebagai dasar untuk menentukan cut-off point bagi tulangan 6D19. Berdasarkan SNI-2847-2013 pasal 12.12.3, maka :

$$x + 12d_b = 1008 + 12(19) = 1268 \text{ mm}$$

$$x + d = 1008 + 537,5 = 1577,5 \text{ mm}$$

$$x + l_n/16 = 1008 + 443,75 = 1250,12$$

Maka diambil nilai terbesar, yaitu 1600 mm..

Perhitungan panjang penyaluran tulangan D 19 berdasarkan SNI 2847 – 2013 pasal 12.2.1 adalah sebagai berikut:  
Diketahui  $d_b = 19 \text{ mm}$ ;  $\Psi_e = 1,0$  ;  $\Psi_t = 1$  ;  $\lambda = 1,0$

$$\begin{aligned}
 l_d &= d_b \times \frac{f_y \times \Psi_t \times \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \\
 &= 19 \times \frac{420 \times 1 \times 1}{2,1 \times 1 \times \sqrt{30}} = 693,78 \text{ mm} \approx 700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

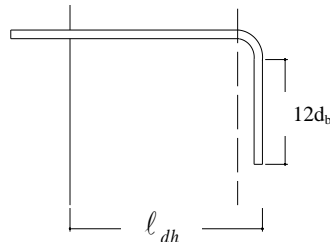
$$l_d > 300 \text{ mm}$$

$$700 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan tarik 1600 mm.

- Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik:

Menurut SNI 2847-2013 Ps.12.5.1, panjang penyaluran  $\ell_{dh}$  untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton berat normal adalah sbb :



Gambar 4. 73 Panjang penyaluran kait sloof

$$\ell_{dh} > 8d_b = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$\ell_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_{dh} &= \frac{0,24 \times f_y \times d_b}{\sqrt{f'_c}} \\
 &= \frac{0,24 \times 420 \times 19}{\sqrt{30}} = 349,67 \text{ mm} \approx 370 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan  $\ell_{dh} = 370 \text{ mm}$

Syarat :

$$l_{dh} \geq 8db$$

$$370 \text{ mm} \geq 8 \times 19$$

$$370 \text{ mm} \geq 152 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$$

$$370 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Perhitungan panjang kait

$$12db = 12(19) = 228 \text{ mm}$$

dipakai panjang kait 230 mm

Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik sepanjang 370 mm dan panjang kait 230 mm

- Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan:

$$\begin{aligned} \ell_{dh_1} &= \frac{0,24 \times f_y \times db}{\sqrt{f_c}} \\ &= \frac{0,24 \times 420 \times 19}{\sqrt{30}} = 349,67 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell_{dh_2} &= 0,043 \times f_y \times d_b \\ &= 0,043 \times 420 \times 19 = 343,14 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat

$$l_{dh} > 200 \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

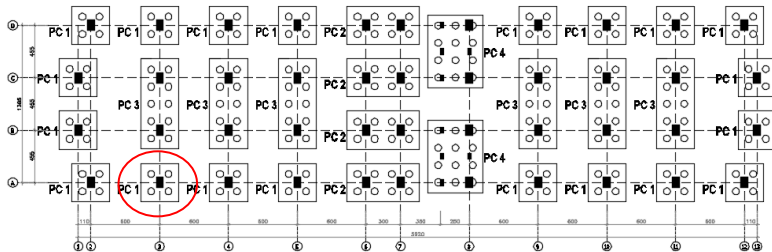
Jadi, dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan sepanjang 350 mm

#### 4.7.2 Desain Pondasi Tiang Pancang

Pondasi merupakan bangunan struktur bawah yang berfungsi sebagai perantara dalam meneruskan beban bagian atas dan gaya-gaya yang bekerja pada pondasi tersebut ke tanah pendukung di bawahnya. Desain pondasi suatu struktur bangunan

harus mempertimbangkan jenis, kondisi dan struktur tanah. Hal ini terkait dengan kemampuan atau daya dukung tanah dalam memikul beban yang terjadi di atasnya.

Desain pondasi tiang pancang yang akan dianalisis adalah pada kolom As A-3, sebagai berikut :



Gambar 4. 74 Denah pondasi yang ditinjau

#### 4.7.2.1 Data Perencanaan Tiang Pancang

Spesifikasi tiang pancang produksi WIKA yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Outside diameter = 600 mm
- Wall Thickness = 100 mm
- Kelas = A2
- Concret cross section =  $1571 \text{ cm}^2$
- Unit weight = 393 kg/m
- Bending Moment crack = 19 Tm
- Bending moment ultimate = 28,5 Tm
- Allowable axial load = 249 Ton

#### 4.7.2.2 Beban Struktur

Dari hasil analisis struktur didapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada pondasi seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4. 43 Hasil reaksi kolom dari ETABS

Joint Kolom	P (T)	Hx (T)	Hy (T)	Mx (Tm)	My (Tm)
1	307,56	4,57	7,75	27,32	18,79
3	384,44	10,31	13,85	27,86	14,20
6	358,78	8,79	8,15	23,90	13,47
7	319,71	5,48	7,15	22,70	12,72
8	253,95	6,86	6,59	22,01	16,48
9	240,10	6,53	6,26	21,76	15,27
11	309,74	5,45	7,07	23,20	12,55
12	352,03	8,62	8,05	24,43	13,71
13	389,13	7,84	14,70	29,96	12,77
14	293,00	5,23	5,48	29,84	17,83
15	388,04	5,36	7,63	26,60	24,43
25	370,97	4,72	5,38	25,59	24,22
26	387,08	5,21	7,31	25,64	24,22
38	370,14	67,59	94,34	25,49	24,10
39	300,83	4,40	7,45	28,21	18,41
40	313,13	5,30	7,39	24,79	12,52
41	319,33	5,31	7,15	23,72	12,27
42	315,89	5,29	6,95	22,82	12,26
43	253,26	6,59	6,42	21,55	15,99
44	238,94	6,32	6,10	21,21	14,65
46	305,59	5,22	6,97	23,66	12,43
47	307,51	5,31	7,28	24,51	12,62
48	309,26	5,23	7,79	25,71	12,28
49	285,51	5,00	5,51	29,97	17,43

Pada desain tiang pancang ini akan digunakan kombinasi terbesar. Berdasarkan data diatas maka digunakan gaya dalam pada joint kolom 13.

#### 4.7.2.3 Daya Dukung Satu Tiang Pancang

Daya dukung ijin satu tiang pancang dianalisis berdasarkan nilai N-SPT dari hasil SPT. Pada Perhitungan kali ini diambil pada kedalaman 28 m.

$$K = 12 \text{ t/m}^2 \text{ (Lempung)}$$

$$q_p = N_p \times K$$

$$= \frac{(26 + 27 + 28 + 28 + 29)}{5} \times 12 = 330,4 \text{ T/m}^2$$

$$\begin{aligned} A_p &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,6^2 = 0,28 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \times A_p \\ &= 330,4 \times 0,28 = 93,37 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{\sum N_i}{i} \\ &= \frac{664}{28} = 23,7 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \pi \times D \times h_i \\ &= \pi \times 0,6 \times 28 = 52,75 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \left( \frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s \\ &= \left( \frac{23,7}{3} + 1 \right) \times 52,75 = 469,53 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_L &= Q_p + Q_s \\ &= 93,37 + 469,53 = 562,91 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF &= 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ijin} &= \frac{Q_L}{SF} \\ &= \frac{562,91}{3} = 187,64 \text{ T} \end{aligned}$$

Untuk daya dukung tiang pancang tunggal di kedalaman lain bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 44 Daya dukung ijin tanah

No	Depth (m)	N	Np	K (T/m <sup>2</sup> )	qP (T/m <sup>2</sup> )	Ap (m <sup>2</sup> )	Qp (T)	Σni	Ns	As (m <sup>2</sup> )	QS (T)	QL (T)	SF	Q ijin (T)
1	0	0	0	12	0	0,28	0	0	0	0	0	0	3	0
2	1	0	2,3	12	27	0,28	7,63	0	0	1,88	1,88	9,51	3	3,17
3	2	0	4,6	12	55,2	0,28	15,60	0	0	3,77	3,77	19,37	3	6,46
4	<b>3</b>	<b>9</b>	8,4	20	168	0,28	47,48	9	2,00	5,65	9,42	56,90	3	18,97
5	4	14	13,2	20	264	0,28	74,61	23	5,75	7,54	21,98	96,59	3	32,20
6	5	19	19,3	20	385,3	0,28	108,90	42	8,40	9,42	35,80	144,69	3	48,23
7	<b>6</b>	<b>24</b>	24,8	20	496	0,28	140,17	66	11,00	11,30	52,75	192,92	3	64,31
8	7	30	30,6	20	612	0,28	172,95	96	13,76	13,19	73,69	246,64	3	82,21
9	8	37	34,4	20	688	0,28	194,43	133	16,63	15,07	98,60	293,02	3	97,67
10	<b>9</b>	<b>43</b>	36,2	20	724	0,28	204,60	176	19,56	16,96	127,48	332,09	3	110,70
11	10	38	35,7	20	714,7	0,28	201,96	214	21,40	18,84	153,23	355,20	3	118,40
12	11	33	34,3	20	686,7	0,28	194,05	247	22,45	20,72	175,84	369,89	3	123,30
13	<b>12</b>	<b>28</b>	32,0	20	640	0,28	180,86	275	22,92	22,61	195,31	376,17	3	125,39
14	13	30	31,0	20	620	0,28	175,21	305	23,44	24,49	215,82	391,03	3	130,34
15	14	31	29,9	20	598,7	0,28	169,18	336	24,00	26,38	237,38	406,57	3	135,52
16	<b>15</b>	<b>33</b>	28,8	20	576	0,28	162,78	369	24,60	28,26	259,99	422,77	3	140,92
17	16	28	26,3	12	315,2	0,28	89,08	397	24,79	30,14	279,25	368,33	3	122,78
18	17	22	23,6	12	283,2	0,28	80,03	419	24,65	32,03	295,16	375,19	3	125,06
19	<b>18</b>	<b>17</b>	20,8	12	249,6	0,28	70,54	436	24,22	33,91	307,72	378,26	3	126,09
20	19	18	19,3	12	231,2	0,28	65,34	454	23,89	35,80	320,91	386,25	3	128,75
21	20	19	19,0	12	228	0,28	64,43	473	23,65	37,68	334,72	399,16	3	133,05
22	<b>21</b>	<b>20</b>	20,0	12	240	0,28	67,82	493	23,48	39,56	349,17	416,99	3	139,00
23	22	21	21,0	12	252	0,28	71,22	514	23,36	41,45	364,24	435,46	3	145,15
24	23	22	22,1	12	264,8	0,28	74,83	536	23,30	43,33	379,94	454,77	3	151,59
25	<b>24</b>	<b>23</b>	23,2	12	278,4	0,28	78,68	559	23,29	45,22	396,27	474,94	3	158,31
26	25	24	24,4	12	292,8	0,28	82,75	583	23,33	47,10	413,43	496,18	3	165,39
27	26	26	25,5	12	306,4	0,28	86,59	609	23,42	48,98	431,44	518,02	3	172,67
28	<b>27</b>	<b>27</b>	26,6	12	319,2	0,28	90,21	636	23,56	50,87	450,28	540,48	3	180,16
29	28	28	27,5	12	330,4	0,28	93,37	664	23,70	52,75	469,53	562,91	3	187,64
30	29	28	22,4	12	268,8	0,28	75,96	692	23,86	54,64	489,21	565,17	3	188,39
31	<b>30</b>	<b>29</b>	17,0	12	204	0,28	57,65	721	24,03	56,52	509,31	566,96	3	188,99

Kekuatan bahan berdasarkan data tiang pancang milik PT.WIKA BETON untuk diameter 60 cm (kelas A2) diperoleh P=249 Ton.

Berdasarkan hasil analisis kekuatan bahan dan kekuatan tanah diambil P terkecil, yaitu = 187,64 Ton.

#### 4.7.2.4 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

##### Penentuan Dimensi Poer

Jarak dari as ke as antar tiang pancang direncanakan seperti pada perhitungan dibawah ini:

Jarak antar tiang pancang.

$$2,5 D \leq S \leq 3 D$$

$$2,5 \times 0,6 \leq S \leq 3 \times 0,6$$

$$1,5 \leq S \leq 1,8$$

Dipakai jarak sebesar 1,5 m.

Jarak tiang pancang ke tepi.

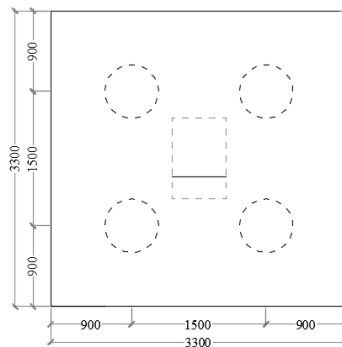
$$1,5 D \leq S' \leq 2 D$$

$$1,5 \times 0,6 \leq S' \leq 2 \times 0,6$$

$$0,9 \leq S' \leq 1,2$$

Dipakai jarak sebesar 0,9 m

Tinggi Poer direncanakan sebesar 1 m



Gambar 4. 75 Dimensi poer dan jarak antar tiang

Pada perhitungan kali ini digunakan gaya dalam pada joint kolom 13. Dengan gaya dalam sebagai berikut:

$$P = 389,13 \text{ T}$$

$$H_x = 7,84 \text{ T}$$

$$H_y = 14,70 \text{ T}$$

$$M_x = 29,96 \text{ T}$$

$$M_y = 12,77 \text{ T}$$



Gaya Aksial Akibat Beban

$$\begin{aligned}
 M_{x \text{ kombinasi}} &= M_x + (H_y \times t) \\
 &= 29,96 + (14,70 \times 1) = 44,66 \text{ Tm} \\
 M_{y \text{ kombinasi}} &= M_y + (H_x \times t) \\
 &= 12,77 + (7,84 \times 1) = 20,6 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh aksial kolom dan beban sendiri poer sebagai berikut :

- Berat sendiri poer  
 $3,3 \times 3,3 \times 1 \times 2,4 = 26,14 \text{ T}$
- Beban aksial kolom  

Beban tetap, P	$\underline{= 389,13 \text{ T}}$
$\Sigma P$	$= 415,27 \text{ T}$

Jumlah tiang pancang dalam 1 grup

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\Sigma P}{Q_{ijin}} \\
 &= \frac{415,27}{187,64} = 2,21 \approx 4 \text{ Buah}
 \end{aligned}$$

Efisiensi daya dukung tiang pancang kelompok

$$\begin{aligned}
 \eta &= 1 - \frac{D}{\pi \times S \times m} \left[ m(n-1) + (m-1) + \sqrt{2(m-1)(n-1)} \right] \\
 &= 1 - \frac{0,6}{\pi \times 1,5 \times 2} \left[ 2(2-1) + (2-1) + \sqrt{2(2-1)(2-1)} \right] \\
 &= 0,719
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \Sigma P &< Q_{kelompok} \\
 415,27 \text{ T} &< Q_{ijin} \times n \times \eta \\
 415,27 \text{ T} &< 187,74 \times 4 \times 0,719 \\
 415,27 \text{ T} &< 539,52 \text{ T} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

#### 4.7.2.5 Kontrol Beban Maksimum Tiang Pancang

Berdasarkan didapatkan jarak masing-masing tiang pancang terhadap titik berat poer.

Tabel 4. 45 Jarak tiang pancang kolom

Tiang	Sumbu (m)			
	X	X <sup>2</sup>	Y	Y <sup>2</sup>
P1	-0,75	0,5625	0,75	0,5625
P2	0,75	0,5625	0,75	0,5625
P3	-0,75	0,5625	-0,75	0,5625
P4	0,75	0,5625	-0,75	0,5625
Σ		2,25		2,25

Gaya yang dipikul oleh masing-masing tiang pancang ditentukan dengan perumusan berikut :

$$P_i = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_{x0} y_{\max}}{\Sigma y^2} \pm \frac{M_{y0} x_{\max}}{\Sigma x^2}$$

$$P_{\max} = \frac{415,27}{4} + \frac{44,66 \times 0,75}{2,25} + \frac{20,6 \times 0,75}{2,25}$$

$$= 126,57 \text{ T}$$

$$P_{\min} = \frac{415,27}{4} + \frac{44,66 \times (-0,75)}{2,25} + \frac{20,6 \times (-0,75)}{2,25}$$

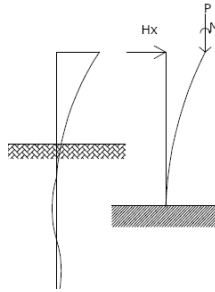
$$= 82,06 \text{ T}$$

Maka, tekanan maksimum satu tiang pancang adalah 126,57 T

Kontrol:

$$\begin{aligned} \Sigma P_{\max} &< Q_{ijin} \times \eta \\ 126,57 \text{ T} &< 187,74 \times 0,719 \\ 126,57 \text{ T} &< 134,88 \text{ T} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

#### 4.7.2.6 Kontrol Kekuatan Terhadap Gaya Lateral



Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philiphonat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter  
 Multilayer : 1.5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat multi layer

$L_e$  = panjang penjepitan  
 $= 3 \times 0.6 \text{ m} = 1.8 \text{ m}$

Dipakai  $L_e = 1.8 \text{ m}$

$M_y = L_e \times H_x$

$M_y \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{M_y}{n} \text{ tm}$

$M_y < M_{\text{bending crack}}$  (dari Spesifikasi WIKA BETON)

$H_x = 7.84 \text{ T}$

$H_y = 14.70 \text{ T}$

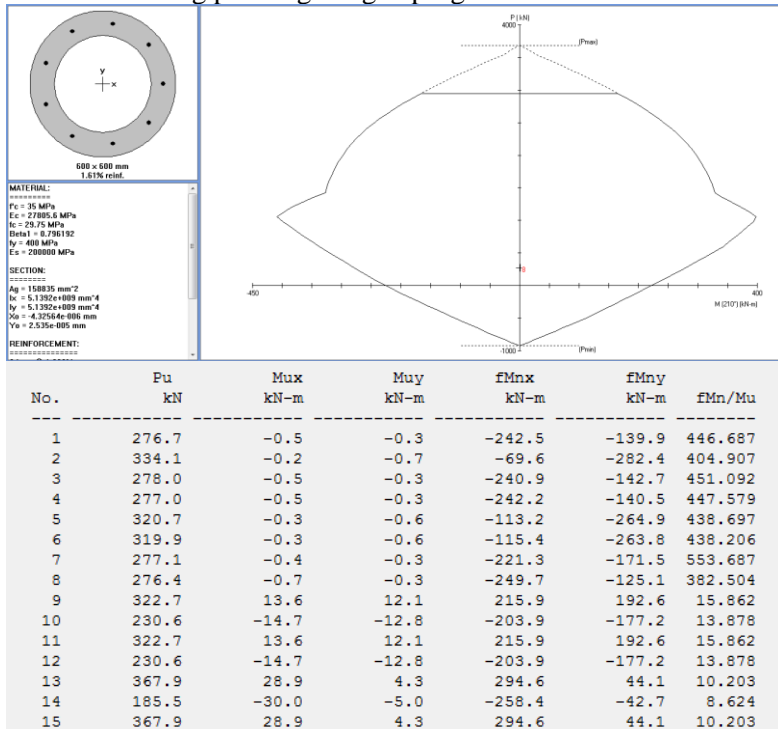
$M_x = 1.8 \times 14.70 = 26.46 \text{ Tm}$

$M_y = 1.8 \times 7.84 = 14.11 \text{ Tm}$

$M_x \text{ (satu tiang pancang)} = \frac{26.46}{4} = 6.62 \text{ Tm}$

$6.62 \text{ Tm} < 19 \text{ Tm} \quad (\text{OK})$

### Kontrol Mn tiang pancang dengan program PCACOL



Gambar 4. 76 Output Mn tiang pancang dari PCACOL

Dari Output PCACOL di atas, tiang pancang mampu untuk memikul gaya yang terjadi. Maka tiang pancang dengan diameter 600 mm aman untuk digunakan dalam desain ini.

#### 4.7.2.7 Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap

Perencanaan tebal poer harus memenuhi suatu ketentuan bahwa kekuatan geser nominal pada pile cap harus lebih besar dari geser ponds.

Data Perencanaan Poer :

- Dimensi Kolom  $= 600 \times 900 \text{ mm}$

- Dimensi Poer =  $3300 \times 3300 \times 1000 \text{ mm}$
- Selimut Beton =  $75 \text{ mm}$
- D Tulangan =  $25 \text{ mm}$
- Mutu Beton, ( $f'c$ ) =  $30 \text{ MPa}$
- Dimensi tiang pancang =  $600 \text{ mm}$
- $\lambda$  = 1 (Beton Normal)
- $\alpha s$  = 30 (Kolom Tepi)
- Rasio sisi panjang terhadap daerah reaksi, ( $\beta$ )

$$\beta = \frac{900}{600} = 1,5$$

$$d = 1000 - 75 - \frac{25}{2} = 912,5 \text{ mm}$$

#### Kontrol geser satu arah poer

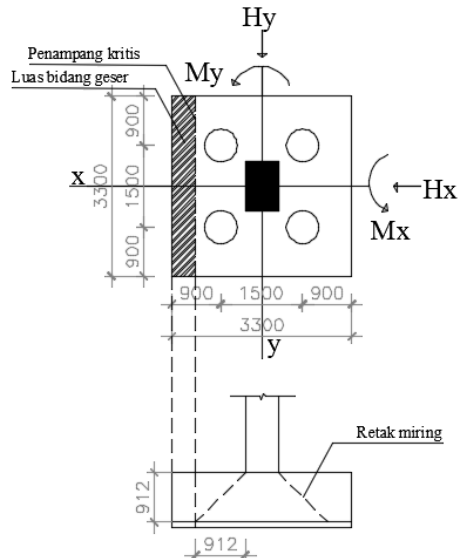
$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{389,13}{3,3 \times 3,3} = 35,73 \text{ T/m}^2\end{aligned}$$

$$b_w = 3,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}G_x' &= L - 0,5b_w - 0,5h_k - d \\ &= 3,3 - (0,5 \times 3,3) - (0,5 \times 0,6) - 0,912 = 0,438 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}G_y' &= L - 0,5b_w - 0,5h_k - d \\ &= 3,3 - (0,5 \times 3,3) - (0,5 \times 0,9) - 0,912 = 0,288 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \sigma \times b_w \times G' \\ &= 35,73 \times 3,3 \times 0,288 = 33,61 \text{ T}\end{aligned}$$



Gambar 4. 77 Gambar bidang kritis geser satu arah

## Cek kuat geser beton

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f_c}b_wd$$

$$= 0,17 \times 1\sqrt{30} \times 3300 \times 912,5 = 2803860 \text{ N} = 280,39 \text{ T}$$

Cek syarat :

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$0,75 \times 280,39 \text{ T} \geq 33,61 \text{ T}$$

210,29 T  $\geq$  33,61 T (OK)

Kontrol geser dua arah poer

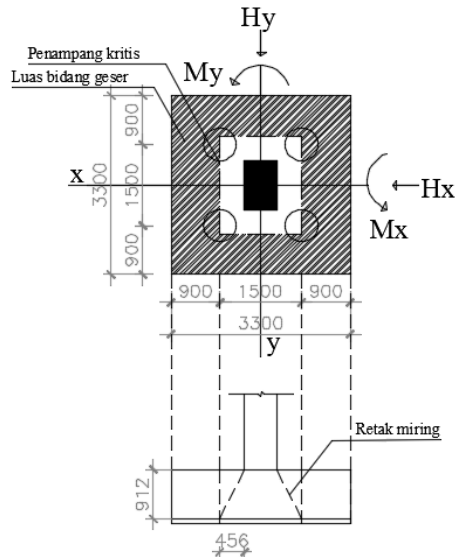
$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{389,13}{3,3 \times 3,3} = 35,73 \text{ T/m}^2$$

$$h_w = 3,3 \text{ m}$$

$$B_x' = \text{lebar kolom} + d = 0,6 + 0,912 = 1,51 \text{ m}$$

$$B_v' = \text{lebar kolom} + d = 0,9 + 0,912 = 1,81 \text{ m}$$

$$V_u = \sigma (h_w^2 - B'^2) = 35,73 (3,3^2 - 1,81^2) = 272,04 \text{ T}$$



Gambar 4. 78 Gambar bidang kritis geser dua arah

Penampang kritis adalah pada daerah dibawah kolom oleh karena itu, Keliling penampang kritis ( $b_o$ ) ditentukan dengan perumusan dibawah :

$$\begin{aligned}
 b_o &= \text{Keliling penampang kritis} \\
 &= 2(b_{\text{kolom}} + d) + 2(h_{\text{kolom}} + d) \\
 &= 2(600 + 912,5) + 2(900 + 912,5) = 6650 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 11.11.2.1 untuk pondasi tapak non-prategang, ( $V_c$ ) ditentukan berdasarkan nilai yang terkecil dari poin berikut :

$$a. \quad V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c} b_o d$$

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{1,5} \right) 1 \times \sqrt{30} \times 6650 \times 912,5$$

$$V_c = 13183807,48 \text{ N} = 1318,38 \text{ T}$$

$$b. \quad V_c = 0,083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f_c} b_o d$$

$$V_c = 0,083 \left( \frac{30 \times 912,5}{6650} + 2 \right) \sqrt{30} \times 6650 \times 912,5$$

$$V_c = 16873266,06 \text{ N} = 1687,33 \text{ T}$$

$$c. \quad V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f_c} b_o d$$

$$V_c = 0,33 \sqrt{30} \times 6650 \times 912,5$$

$$V_c = 10968041,52 \text{ N} = 1096,80 \text{ T} \quad (\text{menentukan})$$

Dari ketiga nilai  $V_c$  diatas diambil nilai terkecil, maka kapasitas penampang dalam memikul geser adalah 1096,80 T.

Cek syarat :

$$\begin{array}{rcl} \phi V_c & \geq & V_u \\ 0,75 \times 1096,80 \text{ T} & \geq & 272,04 \text{ T} \\ 822,60 \text{ T} & \geq & 272,04 \text{ T} \quad (\text{OK}) \end{array}$$

#### Kontrol terhadap panjang penyaluran kolom

$l_{dc}$  diambil yang terbesar dari persamaan berikut :

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left( \frac{0,24 \times 420}{1 \sqrt{30}} \right) 25$$

$$l_{dc} = 460,09 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 420) 25$$

$$l_{dc} = 451,5 \text{ mm}$$

Maka  $l_{dc}$  pakai adalah 600 mm



Cek syarat :

$$\begin{array}{ll} \text{Tebal poer} & > L_{dc} \text{ pakai} \\ 1000 \text{ mm} & > 600 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{array}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013, Pasal 21.12.2.3 untuk mencegah *edge failure* pada pondasi langsung diharuskan pemasangan tulangan transversal pada kolom seperti dipersyaratkan oleh pasal 21.6.4.2 – 21.6.4.4.

Maka dipasang sengkang 3 kaki D13–100 arah x-x dan 5 kaki D13–100 arah y-y sepanjang  $l_{dc}$  yaitu 600 mm sehingga mampu menahan geser.

#### 4.7.2.8 Desain Penulangan Pile Cap

Desain penulangan lentur poer dianalisis sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Beban yang bekerja adalah beban terpusat dari tiang pancang sebesar P dan berat sendiri poer sebesar q.

##### Data Perencanaan :

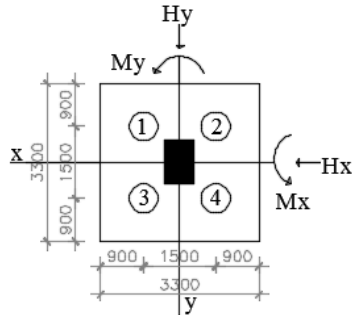
- Dimensi Poer  $= 3300 \times 3300 \times 1000 \text{ mm}$
- Mutu Beton, ( $f'c$ )  $= 30 \text{ MPa}$
- Diameter Tul. Utama ( $\emptyset$ )  $= 25 \text{ mm}$
- Mutu Baja ( $fy$ )  $= 420 \text{ MPa}$
- Tebal Selimut Beton  $= 75 \text{ mm}$
- Tinggi efektif balok poer
  - $d_x = 1000 - 75 - 25/2 = 912,5 \text{ mm}$
  - $d_y = 1000 - 75 - 25 - 25/2 = 887,5 \text{ mm}$

Desain penulangan hanya dianalisis pada salah satu sumbu saja, hal tersebut dilakukan karena bentuk penampang poer yang simetris.

##### Desain Penulangan Poer

$$\text{Beban Poer} \rightarrow q_u = 3,3 \times 1 \times 2,4 = 7,92 \text{ T/m}$$

$$\text{Beban terpusat} \rightarrow P_t = 2 \times P_{\max} = 2 \times 125,57 = 251,15 \text{ T}$$



Gambar 4. 79 Mekanika beban poer

$$\begin{aligned}
 M_u &= (P_t \times e) - \left( \frac{1}{2} q_u e^2 \right) \\
 &= (251,15 \times 1,2) - \left( \frac{1}{2} \times 7,92 \times 2,1^2 \right) \\
 &= 283,91 \text{ Tm} = 2839139380 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{420} \times \frac{600}{(600 + 420)} = 0,0298
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0298 = 0,0224$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,00333$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{2839139380}{0,85 \times 3300 \times 912,5^2} = 1,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 1,15}{420}} \right) \\ &= 0,0028 < \rho_{\text{min}} \dots \dots \dots (\text{digunakan } \rho_{\text{min}})\end{aligned}$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,0033 \times 1000 \times 912,5 = 3041,67 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan lentur D 25 – 150 mm

$$\begin{aligned}A_s \text{ Pasang} &= \frac{1000}{150} \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\ &= 3270,83 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan D25 – 150 pada kedua sumbunya.

- Penulangan susut

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= 0,0018 \\ A_s &= 0,0018 \times 1000 \times 887,5 = 1597,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan susut D 19 – 150 mm

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{1000}{150} \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1889,2 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \quad (\text{OK})$$

Maka, digunakan tulangan susut D19 – 150.

Tabel 4. 46 Rekapitulasi penulangan pile cap

Tipe Pile Cap	n Tiang	Dimensi Pile Cap		Tulangan		Tulangan Susut
		p (m)	l (m)	Arah X	Arah y	
PC 1	4	3,3	3,3	D25-150	D25-150	D19-150

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Ringkasan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul “Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Balok Pratekan” dapat ditarik beberapa Ringkasan sebagai berikut:

#### 1. Hasil perhitungan struktur:

##### Struktur Sekunder

##### Pelat lantai

Tabel 5. 1 Hasil rekapitulasi pelat lantai

Tipe Pelat	Penulangan Tump.		Penulangan Lap		Penulangan Susut	
	X	Y	X	Y	X	Y
P1	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200	Ø8-200
P2	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200	Ø8-200
P3	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200	Ø8-200
P4	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200	Ø8-200
P5	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200	Ø8-200
P6	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200	Ø8-200
P7	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	Ø8-200	Ø8-200

##### Pelat tangga

Tabel 5. 2 Hasil rekapitulasi pelat tangga

Jenis Pelat	Penulangan Lentur	Penulangan Susut
Tangga	D16-150	Ø8-200
Bordes	D16-150	Ø8-200

## Balok sekunder

Tabel 5. 3 Hasil rekapitulasi balok sekunder

Jenis Balok	Penulangan Lentur				Penulangan Geser
	Tumpuan		Lapangan		
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan	
BB	3D16	2D16	3D16	2D16	Ø10-200
BA	4D16	2D16	4D16	2D16	Ø10-150
BL	2D16	2D16	2D16	2D16	Ø10-150
BK	4D19	2D19	4D19	2D19	Ø10-150

Struktur Primer

## Balok Pratekan

Tabel 5. 4 Hasil rekapitulasi balok pratekan

Jenis Balok	Penulangan Lentur				Penulangan Geser		Torsi
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan			
BP	6D22	4D22	5D22	3D22	Ø10-125	Ø10-250	-

## Balok Induk

Tabel 5. 5 Hasil rekapitulasi balok induk

Jenis Balok	Penulangan Lentur				Penulangan Geser		Torsi
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan			
B1	6D19	4D19	4D19	3D19	2D13-100	2D13-250	2 D19
B2	6D19	4D19	4D19	3D19	2D13-100	2D13-250	2 D19
B3	5D19	3D19	3D19	2D19	2D13-100	2D13-200	2 D16
B4	5D19	3D19	4D19	2D19	2D13-100	2D13-250	2 D19
B5	5D19	3D19	4D19	2D19	2D13-100	2D13-250	2 D19
B6	4D19	3D19	4D19	2D19	2D13-100	2D13-250	2 D16
B7	3D19	2D19	3D19	2D19	2D13-100	2D13-200	2 D16
B8	4D19	3D19	4D19	2D19	2D13-100	2D13-250	2 D16

## Kolom

Tabel 5. 6 Hasil rekapitulasi kolom

Jenis Balok	Penulangan Lentur		Penulangan Geser			
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan		Lapangan	
			x-x	y-y	x-x	y-y
K1	20D25	20D25	3D13-100	5D13-100	3D13-150	5D13-150
K2	18D25	18D26	3D13-100	5D13-100	3D13-150	5D13-150
K3	16D25	16D26	3D13-100	5D13-100	3D13-150	5D13-150

## Sloof

Tabel 5. 7 Hasil rekapitulasi sloof

Jenis Balok	Penulangan Lentur				Penulangan Geser		Torsi
	Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan	
	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan			
S1	6D19	4D19	4D19	3D19	2D13-100	2D13-250	2 D19
S2	3D19	2D19	3D19	2D19	2D13-100	2D13-200	2 D16

## Pondasi dan Poer

Tabel 5. 8 Hasil rekapitulasi pondasi dan poer

Tipe Pile Cap	n Tiang	Dimensi Pile Cap		Tulangan		Tulangan Susut
		p (m)	l (m)	Arah X	Arah y	
PC 1	4	3,3	3,3	D25-150	D25-150	D19-150
PC 2	8	6,3	3,3	D25-150	D25-150	D19-150

2. Dari hasil analisis beban gempa, struktur gedung termasuk dalam kategori desain seismik D maka digunakan metode SRPMK. Berdasarkan hasil program analisis struktur ETABS didapatkan kontrol T sebesar 1,79 dt, partisipasi massa memenuhi pada mode 11, nilai akhir respon spektrum  $F_x = 2912,26$  kN dan  $F_y = 2899,81$  kN dan kontrol simpangan memenuhi yaitu kurang dari  $\Delta_a$ .

3. Balok pratekan direncanakan dengan sistem pasca tarik dengan satu buah tendon dengan jumlah strand 25 buah. Berdasarkan analisis perhitungan didapatkan kehilangan pratekan sebesar 17,77 %.
4. Untuk membuat balok pratekan dapat menerima beban gempa maka didesain daktil dengan memberikan tulangan lunak pada balok. Kontribusi tendon pada pratekan sebesar 16,94 % .

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil desain yang telah dilakukan, maka disarankan :

1. Dalam mendesain struktur gedung harus memperhatikan aspek teknis dalam pelaksanaan di lapangan, agar pekerjaan dapat dilaksanakan dengan mudah.
2. Dalam mendesain beton pratekan perlu menggunakan program *Microsoft excel*, karena banyak *trial and error* yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil yang efektif dan efisien.
3. Saat pendistribusian gaya *jacking* harus disesuaikan dengan beban-beban yang bekerja pada balok pratekan, sehingga balok pratekan tidak mengalami kerusakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2013). **SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). **SNI 03-1726-2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung**. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). **SNI 03-1727-2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung**. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum..
- Lin.T.Y dan Burns, H. (1996). **Desain Struktur Beton Prategang, Jilid I**. Batam: Interaksara.
- Nawy, Edward G. 2001. **Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar Ed. 3 Jil. 1**. Diterjemahkan oleh : Bambang Suryoatmono. Jakarta : Erlangga.
- Purwono Rahmat dan Aji Pujo. 2014. **Disain Kapasitas Struktur Daktail Tahan Gempa Kuat Seri 3**. Surabaya : ITS PRESS.
- Sardjono HS, Ir. (1984). **Pondasi Tiang Pancang Jilid 1**. Surabaya: Sinar Wijaya
- Wahyudi, H. (2013). **Daya dukung Pondasi Dalam Edisi 1**. Surabaya: ITS PRESS.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

KAMPUS ITS SUKOLILO TELP. 596094 SURABAYA (60111)

PROJECT : APARTEMEN  
LOCATION : JL. DUKUH KUPANG 17 A  
SURABAYA.

BORING NO : B - 2  
DATE : 15 - 4 - '94

LEGEND :



CLAY



SILT



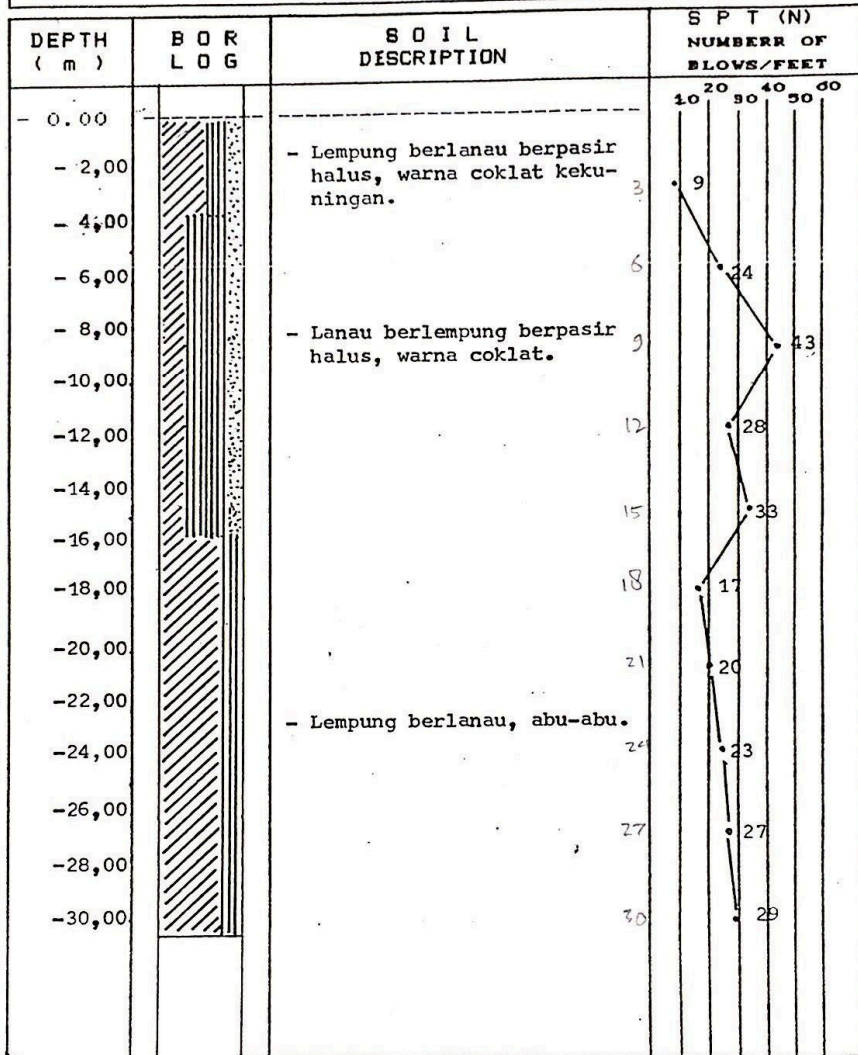
SAND



GRAVEL



SHELL



## Brosur Keramik dan Perekat Keramik

PALLET SIZE 105x105x14CM - GENERAL RETAIL

no.	product size	per box			per pallet			per container		
		pcs.	kgs.	sqm.	box.	kgs.	sqm.	pallet	kgs.	sqm.
1	20x20 Thin	25	12.75	1.00	120	1,545	120.0	17	26,265	2,040
2	20x25	20	10.70	1.00	96	1,042	96.0	20	20,840	1,920
3	30x30-White	11	12.98	0.99	99	1,300	98.0	20	26,000	1,960
4	30x30-Antislip/rustic	11	13.50	0.99	99	1,352	98.0	19	25,688	1,862
5	40x40 - body bl/b	6	17.00	0.96	80	1,375	76.8	19	26,125	1,459
6	40x40 - body bl/l	6	16.20	0.96	80	1,311	76.8	20	26,220	1,536
7	25x40	10	13.20	1.00	84	1,124	84.0	20	22,480	1,680

### DATA TEKNIS

Standar Acuan	EN 12004:2001
Bentuk	Powder
Warna	Abu-Abu muda
Bahan pengikat	Semen Portland
Agregat	Pasir pilihan dengan butiran maksimum 0.6 mm
Bahan tambahan (additive)	Bahan tambahan yang larut dalam air untuk meningkatkan performa adukan.
Kebutuhan air	5.0 – 6.0 liter/sak 25 kg
Daya sebar	± 5 m <sup>2</sup> / 25 kg
Adjustment time	15 menit
Water retention	ASTM C1506-09 : 99.94%
Initial tensile strength	EN 1348:1997 : 0.7–0.85 N/mm <sup>2</sup>
Compressive strength	DIN 18555 Part 3 :14.00-18.00 N/mm <sup>2</sup> @28 hari
Drying shrinkage	ASTM C 596-01 : < 0.1%
Tebal Aplikasi	± 3 mm
Kemasan	25 kg

# Brosur Bata Ringan dan Plesteran

## Perbandingan Bata Ringan Citicon Terhadap Bata Konvensional

	Kecepatan Konstruksi (m <sup>2</sup> /hari)	Daya serap air kg/m <sup>2</sup> .h <sup>1/2</sup>	Tebal spesi (mm)	Berat (kg m <sup>2</sup> )	Insulasi panas [W/mK]	Ketahanan terhadap api [jam]
Citicon	>20	4 - 6	3	600	0.14	3
Bata konvensional	6-8	22 - 30	20 - 30	1500	0.65	2

## Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, l [mm]	: 600
Tinggi, h [mm]	: 200 ; 300 ; 400
Tebal, t [mm]	: 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Berat jenis kering, [ρ ]	: 520 kg/m <sup>2</sup>
Berat jenis normal, [ρ ]	: 600 kg/m <sup>2</sup>
Kuat tekan, [σ ]	: ≥ 4,0 N/mm <sup>2</sup>
Konduktifitas termis, [λ ]	: 0.14 W/mK

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m <sup>3</sup>	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

### DATA TEKNIS

Standar Acuan	EN 998:2003 (Pasangan Bata & Plester) EN 13813:2003 (Perata Lantai)
Bentuk	Powder
Warna	Abu-Abu muda
Bahan pengikat	Semen Portland
Agregat	Pasir pilihan dengan butiran maksimum 0.6 mm
Bahan pengisi (filler)	CaCO <sub>3</sub> (guna meningkatkan kepadatan serta mengurangi porositas bahan adukan)
Bahan tambahan (additive)	Bahan tambahan yang larut dalam air untuk meningkatkan performa adukan
Kebutuhan Air	5.5 – 6.5 liter/sak 40 kg (Retail) 7.0 – 7.5 liter/sak 50 kg (Proyek)
Daya Sebar	
Pasangan bata merah	± 1.25 m <sup>2</sup> / 40 kg ± 1.5 m <sup>2</sup> / 50 kg
Pasangan bata ringan/batako	± 3.50 m <sup>2</sup> / 40 kg ± 4.35 m <sup>2</sup> / 50 kg
Plester bata merah	± 2 m <sup>2</sup> / 40 kg ± 2.5 m <sup>2</sup> / 50 kg
Plester bata ringan / batako	± 2.1 m <sup>2</sup> / 40 kg ± 2.6 m <sup>2</sup> / 50 kg
Perata lantai	± 2 m <sup>2</sup> / 40 kg ± 3 m <sup>2</sup> / 50 kg
Water Retention	ASTM C1506-09 : 99.47%

# Brosur Plafon dan Penggantung

## Aplikasi plafon rangka kayu

**KalsiBoard Ling 4.5®**


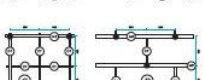
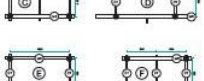

### Informasi umum produk

### Ukuran Standar

KALSIBoard Ling 4.5 adalah papan bangunan dengan ketebalan 4.5mm, cocok digunakan untuk plafon diaplikasikan denganaku KALSINail 3-4.5 pada rangka kayu. Sambungan antar papan sebaiknya dibiarkan terbuka (visible joint). Kami sarankan untuk tidak menyambung dengan kompon dan disekrup pada rangka metal dikarenakan ketebalannya yang hanya 4.5mm. KALSIBoard Ling 4.5 adalah produk terbaik di kelasnya. Produk ini diciptakan untuk proyek bangunan baru maupun proyek renovasi yang membutuhkan kualitas penyelesaian akhir yang rapi. KALSIBoard Ling 4.5 terbuat dari bahan baku terbaik dan 100% BEBAS ASBES! Dibandingkan dengan produk pesaing di pasaran, KALSIBoard Ling 4.5 ini memiliki daya tahan yang lebih baik bladikombinasikan dengan aksesoris yang asli, Anda dapat menikmati plafon baru yang memiliki nilai estetika tinggi. Pastikan Anda mendapatkan produk KALSIBoard Ling 4.5 yang asli dengan label printing KALSIBoard Ling 4.5 yang tercetak pada tiap lembarnya.

Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Berat (kg)
4.5	1220	2440	19.0
4.5	1200	2400	18.4

Berat rata-rata 1 m² adalah 6.4 kg. \*Ukuran yang diproduksi berdasarkan pesanan

Sistem	Jarak Penggantung (mm)	Jarak Rangka		Maksimal Beban (kg/m²)	Lay out Pemasangan Rangka
		Jarak Main Runner (mm)	Jarak Cross Tee (mm)		
A	800	1200	600	11.0	
	1000	1200	600	8.7	
	1200	1200	600	7.3	
B	800	1200	600/1200	11.0	
	1000	1200	600/1200	8.7	
	1200	1200	600/1200	7.3	
C	800	1200	600/600	11.0	
	1000	1200	600/600	8.7	
	1200	1200	600/600	7.3	
D	800	600	1200/staggered	21.9	
	1000	600	1200/staggered	17.5	
	1200	600	1200/staggered	14.6	
E	800	600	1200	21.9	
	1000	600	1200	17.5	
	1200	600	1200	14.6	
F	800	600	600	21.9	
	1000	600	600	17.5	
	1200	600	600	14.6	

Catatan : MR = Main Runner  
CT = Cross Tee

Catatan : Deflection Limit L/360 dengan Design Pressure 0 Pa.

Sumber: Eureka Indonesia 2009

Sumber: Eureka Indonesia 2009

Catatan : Deflection Limit L/360 dengan Design Pressure 0 Pa.

# MULTISTRAND POST-TENSIONING



## STRAND PROPERTIES – TO AS1311

Nominal Diameter	Nominal Steel Area	Nominal Mass	Minimum Breaking Load	Minimum Proof Load (0.2% Offset)	Min. Elong. to Fracture in 600mm	Relaxation After 1,000hrs at 0.7 Breaking Load	Modulus of Elasticity
mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	kN	kN	%	%	MPa
12.7	100.1	0.786	184	156.4	3.5	2.5	180-205
15.2	143.3	1.125	250	212.5	3.5	2.5	x 10 <sup>3</sup>

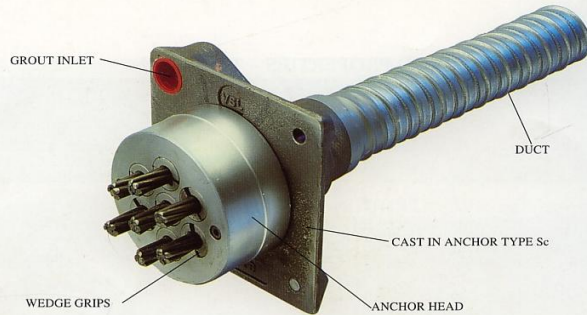
## TENDON PROPERTIES

STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
5-3	2	368	39
	3	552	39
5-7	4	736	51
	5	920	51
	6	1100	51
	7	1290	51
5-12	8	1470	69
	9	1660	69
	10	1840	69
	11	2020	69
	12	2210	69
5-19	13	2390	84
	14	2580	84
	15	2760	84
	16	2940	84
	17	3130	84
	18	3310	84
	19	3500	84
5-22	20	3680	90
	21	3860	90
	22	4050	90
5-27	23	4230	96
	24	4420	96
	25	4600	96
	26	4780	96
	27	4970	96
5-31	28	5150	105
	29	5340	105
	30	5520	105
	31	5700	105
5-37	32	5890	115
	33	6070	115
	34	6260	115
	35	6440	115
	36	6620	115
	37	6810	115
5-42	38	6990	118
	39	7180	118
	40	7360	118
	41	7540	118
	42	7730	118
5-48	43	7910	127
	44	8100	127
	45	8280	127
	46	8460	127
	47	8650	127
	48	8830	127
5-55	49	9020	135
	50	9200	135
	51	9380	135
	52	9570	135
	53	9750	135
	54	9940	135
	55	10120	135

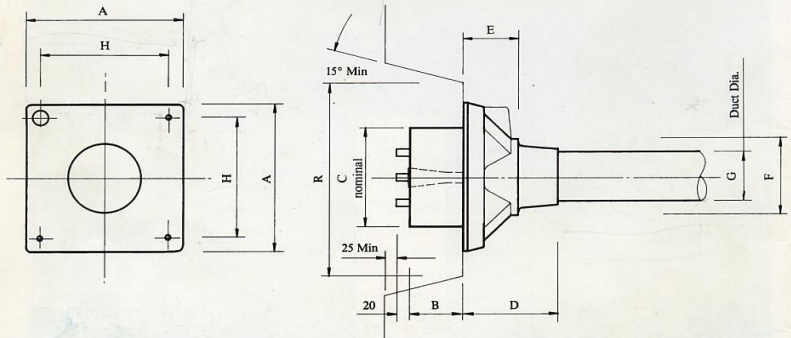
STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
6-3	2	500	39
	3	750	39
6-4	4	1000	51
	5	1250	51
6-7	6	1500	69
	7	1750	69
6-12	8	2000	84
	9	2250	84
	10	2500	84
	11	2750	84
	12	3000	84
6-19	13	3250	96
	14	3500	96
	15	3750	96
	16	4000	96
	17	4250	96
	18	4500	96
	19	4750	96
6-22	20	5000	105
	21	5250	105
	22	5500	105
6-27	23	5750	115
	24	6000	115
	25	6250	115
	26	6500	115
	27	6750	115
6-31	28	7000	118
	29	7250	118
	30	7500	118
	31	7750	118
6-37	32	8000	127
	33	8250	127
	34	8500	127
	35	8750	127
6-42	36	9000	135
	37	9250	135
	38	9500	135
	39	9750	135
	40	10000	135
6-48	41	10250	135
	42	10500	135
	43	10750	144
	44	11000	144
	45	11250	144
	46	11500	144
6-55	47	11750	144
	48	12000	144
	49	12250	154
	50	12500	154
	51	12750	154
	52	13000	154
	53	13250	154
	54	13500	154
	55	13750	154

- Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.  
2. Duct diameters are for corrugated steel duct.  
3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal  
4. Corrugated polyethylene PT-Plus™ duct is also available, refer page 14.  
5. For special applications other strand and tendon capacities are available.





**VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc  
LIVE END**

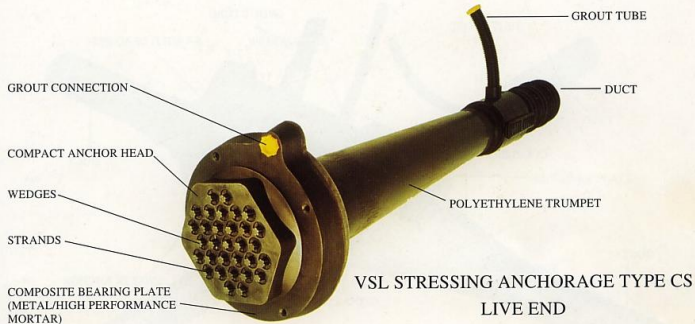


TENDON UNIT		Dimensions (mm)								
		A	B	C	D	E	F	G Int. Dia.	H	R
STRAND TYPE 12.7mm	*5-3P	135	57	90	191	16	56	39	116	210
	*5-4P	150	57	90	216	16	64	39	125	210
	5-7	165	57	120	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	54	160	160	84	120	69	151	320
	5-19	265	66	184	210	110	145	84	200	360
	5-22	290	77	200	215	140	153	90	230	360
	5-27	315	92	220	250	160	176	96	250	360
	5-31	315	92	230	250	161	175	105	250	360
	*5-37	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	5-42	390	112	290	346	168	217	118	325	650
STRAND TYPE 15.2mm	*6-3P	150	60	90	190	16	56	39	116	210
	*6-4P	165	54	120	100	60	85	51	125	270
	6-7	215	54	160	160	85	120	69	150	320
	6-12	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	6-19	315	92	220	250	160	175	96	250	360
	6-22	315	92	230	250	160	175	105	250	360
	6-27	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	6-31	390	112	290	340	160	217	118	325	650
	6-37	430	122	300	340	160	235	135	365	750
	6-42	465	142	320	340	160	250	135	400	750
	*6-48P	575	155	340	1035	110	269	144	495	900
	*6-55P	600	190	360	1070	120	294	154	520	900

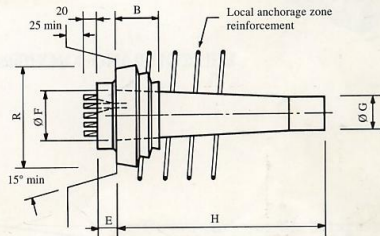
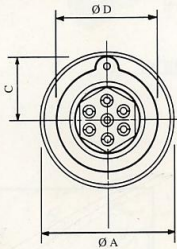
Note: Dimension R does not allow for Lift Off force check. Smaller recesses can be provided for special cases.  
Refer VSL office for details.

\*Plate type anchorages (Type P). Also available for other tendon units.

# MULTISTRAND POST-TENSIONING



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE CS  
LIVE END



TENDON UNIT		Dimensions (mm)									
STRAND TYPE 12.7mm	STRAND TYPE 15.2mm	øA	B	C	øD	E	øF Ext. Dia.	øG CS-Standard	H CS-Plus CS-Super	H	R
5-12	6-7	222	60	135.5	153/143	49	110	80	400	535	320
5-19	6-12	258	80	149	178	49	137	95	500	638	360
-	6-19	300	90	170	210	59	156	110	540	660	360
5-31	6-72	320	100	180	229	59/65	174	125	570	740	360
5-43	6-31	390	120	217	279/283	69/75	224	146	880	*	640
5-55	6-37	420	130	233	302	78/82	237	160	850	*	750

\*Check with VSL office

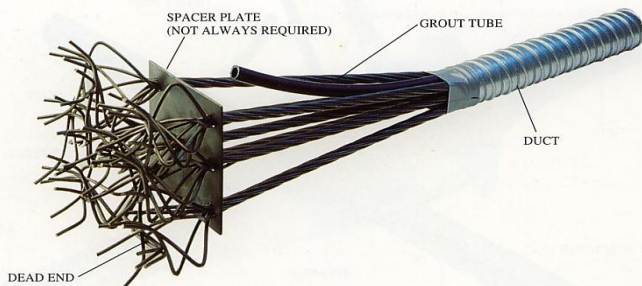
The trumpets for the CS-PLUS and CS-SUPER configurations have short, profiled extension for PT-PLUS™ coupling.

## TENDON CONFIGURATIONS

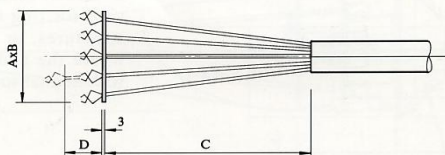
VSL SYSTEM	Anchorage Type		Duct Type		Fully Encapsulated Tendon	Electrically Isolated Tendon
	Conventional	CS	Steel	HD PE PT-PLUS		
Conventional	•		•			
PT-PLUS	•			•		
CS-Standard		•	•			
CS-Plus		•		•	•	
CS-Super		•		•	•	•

The Type CS anchorage should be used for applications requiring high fatigue resistance, high corrosion resistance, reduced anchorage friction and the possibility of electrical isolation. For conventional applications the Type Sc anchorage should be used.





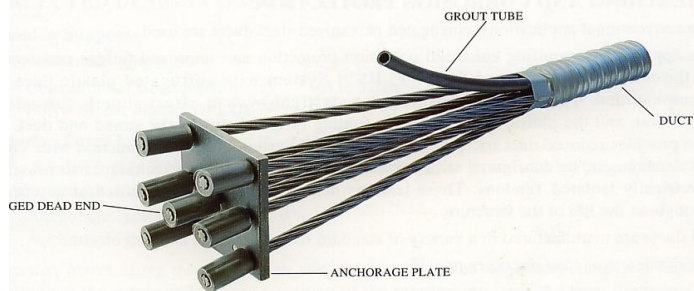
VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE H



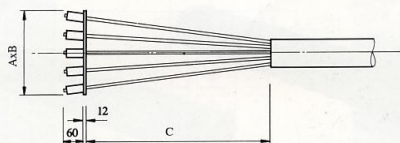
TENDON UNIT	STRAND TYPE 12.7mm			
	A	B	C	D
	Dimensions (mm)			
5-3	125	125	600	—
5-4	125	125	600	—
5-7	175	150	600	—
5-12	300	250	1000	150
5-19	375	300	1000	150
5-22	400	300	1000	150
5-27	450	400	1000	150
5-31	450	425	1000	150
5-37	525	450	1100	150
5-42	600	450	1100	150
5-48	645	450	1200	150
5-55	700	500	1200	150

TENDON UNIT	STRAND TYPE 15.2mm			
	A	B	C	D
	Dimensions (mm)			
6-3	150	150	600	—
6-4	150	150	600	—
6-7	200	170	600	—
6-12	350	300	1000	150
6-19	450	350	1000	150
6-22	500	350	1000	150
6-27	550	450	1100	150
6-31	550	475	1100	150
6-37	600	550	1100	150
6-42	700	550	1200	150
6-48	745	550	1200	150
6-55	800	600	1200	150

# MULTISTRAND POST-TENSIONING



VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P



STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	A	B	C
Dimensions (mm)			
5-3	100	100	100
5-4	120	120	150
5-7	150	150	250
5-12	200	200	350
5-19	250	250	500
5-22	300	250	500
5-27	300	300	650
5-31	350	300	650
5-37	375	350	850
5-42	375	375	850
5-48	400	400	1000
5-55	425	425	1000

STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	A	B	C
Dimensions (mm)			
6-3	150	150	250
6-4	150	150	250
6-7	200	200	350
6-12	250	250	500
6-19	300	300	500
6-22	300	300	500
6-27	350	350	650
6-31	350	350	650
6-37	400	350	850
6-42	400	350	850
6-48	475	475	1000
6-55	550	475	1000

## SHEATHING AND CORROSION PROTECTION

For conventional applications, corrugated galvanised steel ducts are used.

For applications requiring enhanced corrosion protection and improved fatigue resistance of the tendons, use of the VSL PT-PLUS™ System with corrugated plastic duct is recommended. This fully encapsulated, watertight system offers superb corrosion protection, and the plastic duct eliminates fretting fatigue between the strand and duct. It also provides reduced duct friction. The PT-PLUS™ System may, in conjunction with VSL CS Anchorages, be configured with special details and installation techniques to provide Electrically Isolated Tendons. These tendons may be electrically monitored at any time throughout the life of the structure.

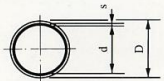
All ducts are manufactured in a variety of standard lengths and are coupled on site.

For diameters of steel ducts see page 7.

## DIMENSIONS OF POLYETHYLENE DUCTS PT-PLUS™

STRAND TYPE 12.7mm	STRAND TYPE 15.2mm	DUCT Dimensions (mm)		
TENDON UNIT	TENDON UNIT	d	D	s
5-12	6-7	59	73	2
5-19	6-12	76	91	2.5
5-31	6-19/6-22	100	116	3
5-43	6-31	130	146	3
5-55	6-37	130	146	3

Other units on request



POLYETHYLENE DUCT PT-PLUS™

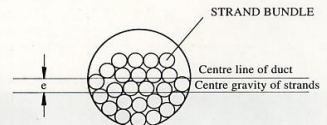


STEEL DUCT

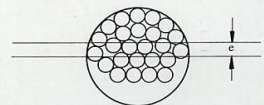
## ECCENTRICITY OF TENDONS

STRAND TYPE 12.7mm		
TENDON UNIT	STEEL DUCT e (mm)	PLASTIC DUCT e (mm)
5-1	4	—
5-3	7	—
5-7	8	—
5-12	11	7
5-19	13	9
5-22	12	22
5-27	13	17
5-31	14	14
5-37	23	32
5-42	26	28
5-48	17	24
5-55	23	14

STRAND TYPE 15.2mm		
TENDON UNIT	STEEL DUCT e (mm)	PLASTIC DUCT e (mm)
6-1	5	—
6-3	6	—
6-4	6	—
6-7	10	9
6-12	14	12
6-19	17	18
6-22	14	15
6-27	13	32
6-31	22	28
6-37	25	22



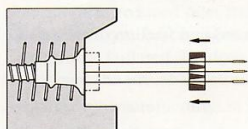
STRAND POSITION AT HIGH POINT OF TENDON



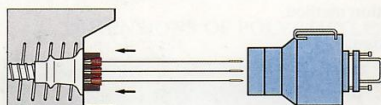
STRAND POSITION AT LOW POINT OF TENDON

## STRESSING

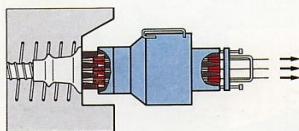
The unique feature of the VSL post-tensioning systems lies in its special procedure for locking the wedges. The wedges always remain in contact with the strands during the stressing operation. As the pressure in the jack is released, the wedges



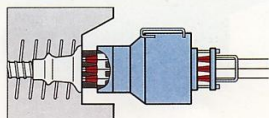
Placing of anchor head and wedges



Positioning of the jack



Stressing



Seating of wedges



Placing of anchor head



Positioning of jack



Stressing, measuring, seating of wedges

## GROUTING

VSL grouting equipment includes mixer and pump in one unit. Grouting is usually carried out as soon as possible after stressing. For special applications vacuum assisted grouting procedures can be used



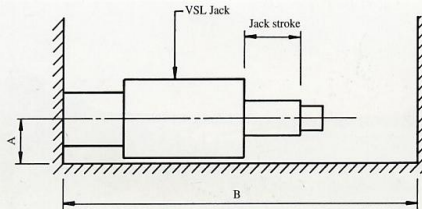
Grouting equipment



Grouting of tendon



## MULTISTRAND POST-TENSIONING

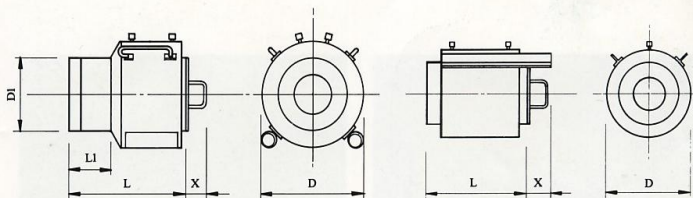


### JACK CLEARANCE REQUIREMENTS

Dimensions (mm)	VSL JACK TYPE					
	VSL50	VSLB7	VSL190	VSL290	VSL460	VSL670
A	145	180	(195)	235	285	370
B	1000	1000	1600	1600	1400	2400

Dimensions (mm)	VSL750	VSL1000	VSL1250	VSL1650	VSL1700
	A	300	435	395	495
B	2600	2300	2800	1800	2600

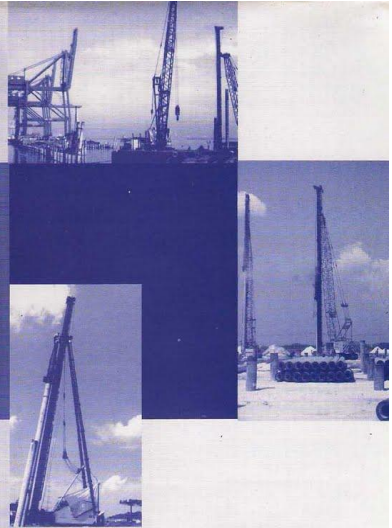
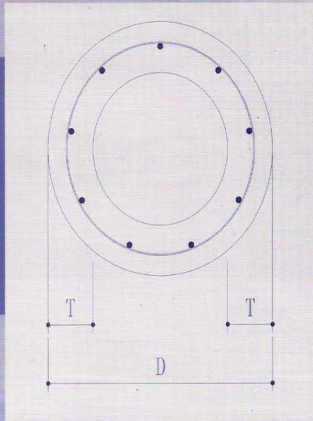


### STRESSING JACK DETAILS

VSL JACK TYPE	TENDON UNIT	TENDON UNIT	NOMINAL CAP (kN)	D	D1	L	L1	X	STROKE (mm)	MASS (kg)
VSL50	5-3 & 4		500	210	-	430	-	-	150	34
VSLB7	5-7	6-3 & 4	1000	275	-	405	-	-	160	76
VSL190	5-12	6-7	1900	310	230	430	200	135	100	151
VSL290	5-19	6-12	2900	390	270	450	215	240	100	202
VSL460	5-31	6-19	4600	485	330	510	200	85	100	425
VSL670	5-42	6-31	6700	660	-	840	-	250	200	1550
VSL750	5-42	6-35	7500	570	410	1030	215	165	200	1500
VSL1000	5-55	6-47	10000	790	-	885	-	165	200	2200
VSL1250	5-55	6-55	12500	710	420	1125	220	165	150	1730
VSL1650	5-64	6-55	16500	910	600	615	140	-	150	1750
VSL1700	5-91	6-91	17000	875	-	1030	-	165	150	3085

Note: other equipment is available for special situations.

## Shape and Dimension



## Classification

Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Crack	Moment Ultimate	Allowable Axial Load (Ton)
						(Ton.m)	(Ton.m)	
300	60	A2	452	113	6 - 13	2.50	3.75	72.60
		A3				3.00	4.50	70.75
		B				3.50	6.30	67.50
		C				4.00	8.00	65.40
350	65	A1	582	145	6 - 15	3.50	5.25	93.10
		A3				4.20	6.30	89.50
		B				5.00	9.00	86.40
		C				6.00	12.00	85.00
400	75	A2	766	191	6 - 16	5.50	8.25	121.10
		A3				6.50	9.75	117.60
		B				7.50	13.50	114.40
		C				9.00	18.00	111.50
450	80	A1	930	232	6 - 16	7.50	11.25	149.50
		A2				8.50	12.75	145.80
		A3				10.00	15.00	143.80
		B				11.00	19.80	139.10
		C				12.50	25.00	134.90
500	90	A1	1159	290	6 - 16	10.50	15.75	185.30
		A2				12.50	18.75	181.70
		A3				14.00	21.00	178.20
		B				15.00	27.00	174.90
		C				17.00	34.00	169.00
600	100	A1	1571	393	6 - 16	17.00	25.50	252.70
		A2				19.00	28.50	249.00
		A3				22.00	33.00	243.20
		B				25.00	45.00	238.30
		C				29.00	58.00	229.50



# iris™

PM Gearless Elevator



## ● Overhead, Pit & Machine Room Height

Speed (m/s)	Load (kg)	Travel (m)	Overhead (mm)	Pit Depth (mm)	Machine Room Height (mm)	Hook Load (kg)
1.0	450 ~ 1000	TR ≤ 100	4200	1400	2300	3000
	1150 ~ 1600		4300			4500
1.5	450 ~ 1000		4400	1450	2300	3000
	1150 ~ 1600					4500
1.75	450 ~ 1000		4500	1600	2300	3000
	1150 ~ 1600					4500

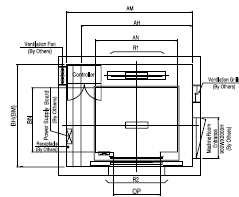
## ● Layout Dimensions | Speed : 1.0 m/s

[Standard]

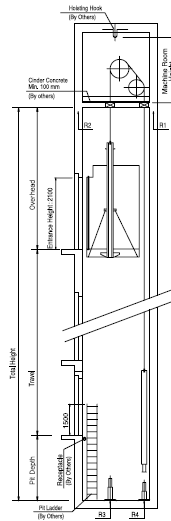
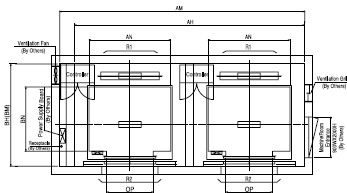
(Unit : mm)

Speed (m/s)	Capacity		Entrance Opening (mm)	Car Size		Holstway Size				Machine Room Size				Reaction Load(kg)			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		AN	BN	AH	BH	AH	BH	AM	BM	AM	BM	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1100	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	2550	10200	7000	10950	8700
			2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300					

[Simplex]



[Duplex]







DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

---

# **GAMBAR ARSITEKTUR DAN STUKTUR**

## **TUGAS AKHIR**

### **DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN PAVILION PERMATA SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN**

**OLEH :**

**ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
NRP. 03111645000056**

**DOSEN PEMBIMBING I:**

**Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka**

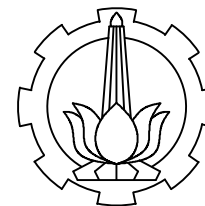
**DOSEN PEMBIMBING I:**

**Prof. Tavio, ST., MT., PhD.**

# DAFTAR ISI GAMBAR

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	NOMOR GAMBAR
ARS	TAMPAK DEPAN DAN BELAKANG	01
ARS	TAMPAK SAMPING KIRI	02
ARS	DENAH LT. BASEMENT DAN LT. 1	03
ARS	DENAH LT. 2-12 DAN LT. 13	04
ARS	DENAH LT. ATAP	05
ARS	POTONGAN A-A	06
ARS	POTONGAN B-B DAN C-C	07
STR	DENAH SLOOF DAN BALOK & KOLOM LT. 1	08
STR	DENAH BALOK & KOLOM LT. 2-4 DAN LT. 5-8	09
STR	DENAH BALOK & KOLOM LT. 9-12 DAN LT. 13	10
STR	DENAH BALOK & KOLOM LT. ATAP	11
STR	DENAH PONDASI	12
STR	PENULANGAN PELAT TIPE P1	13
STR	PENULANGAN PELAT TIPE P2	14
STR	PENULANGAN PELAT TANGGA	15

KODE GAMBAR	NAMA GAMBAR	NOMOR GAMBAR
STR	DETAIL PENULANGAN TANGGA	16
STR	PENULANGAN BALOK TIPE B1 DAN B2	17
STR	PENULANGAN BALOK TIPE B3	18
STR	PENULANGAN SLOOF TIPE S1 DAN S2	19
STR	PENULANGAN KOLOM TIPE K1	20
STR	DETAIL HBK	21
STR	POSISI DAN KOORDINAT TENDON B. PRATEKAN	22
STR	PENULANGAN B. PRATEKAN DAN DETAIL	23
STR	DETAIL POTONGAN A-A DAN B-B	24
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK	25
STR	DETAIL PENULANGAN B. PRATEKAN DAN SLOOF	26
STR	DETAIL PENULANGAN BALOK SEKUNDER	27
STR	DETAIL PENULANGAN KOLOM	28
STR	PENULANGAN PILE CAP TIPE PC 1	29
STR	PENULANGAN PILE CAP TIPE PC 2	30



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

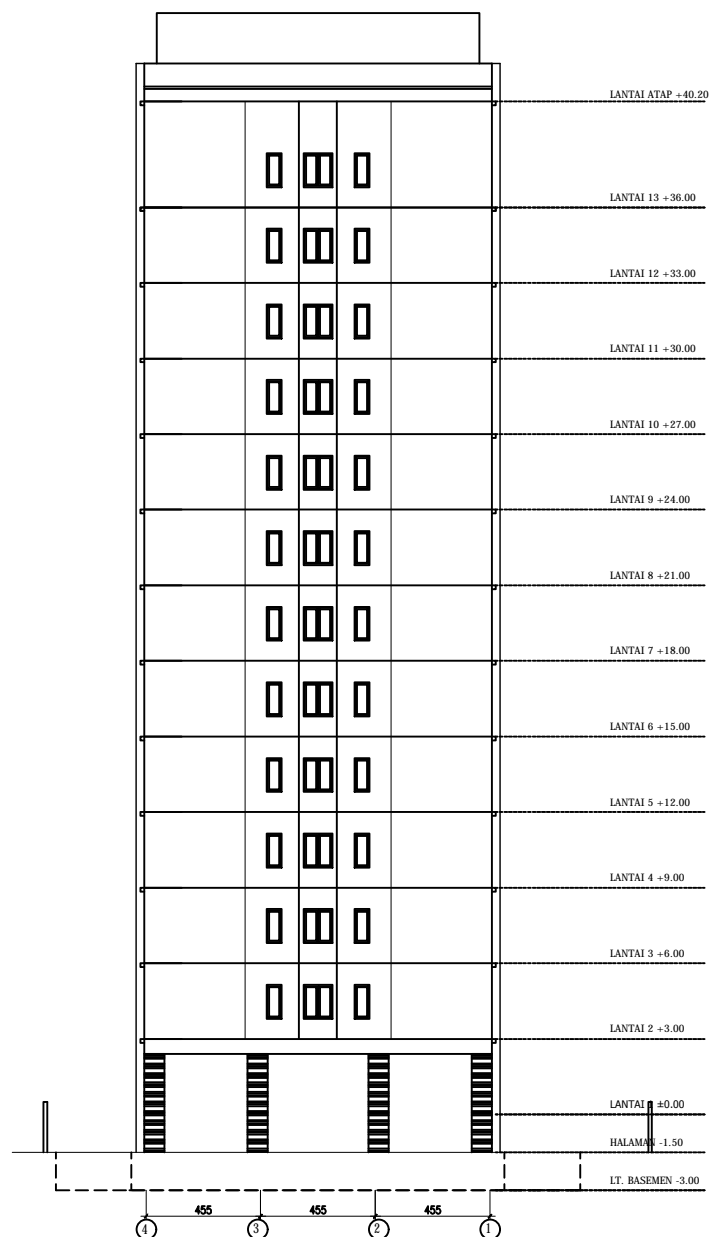
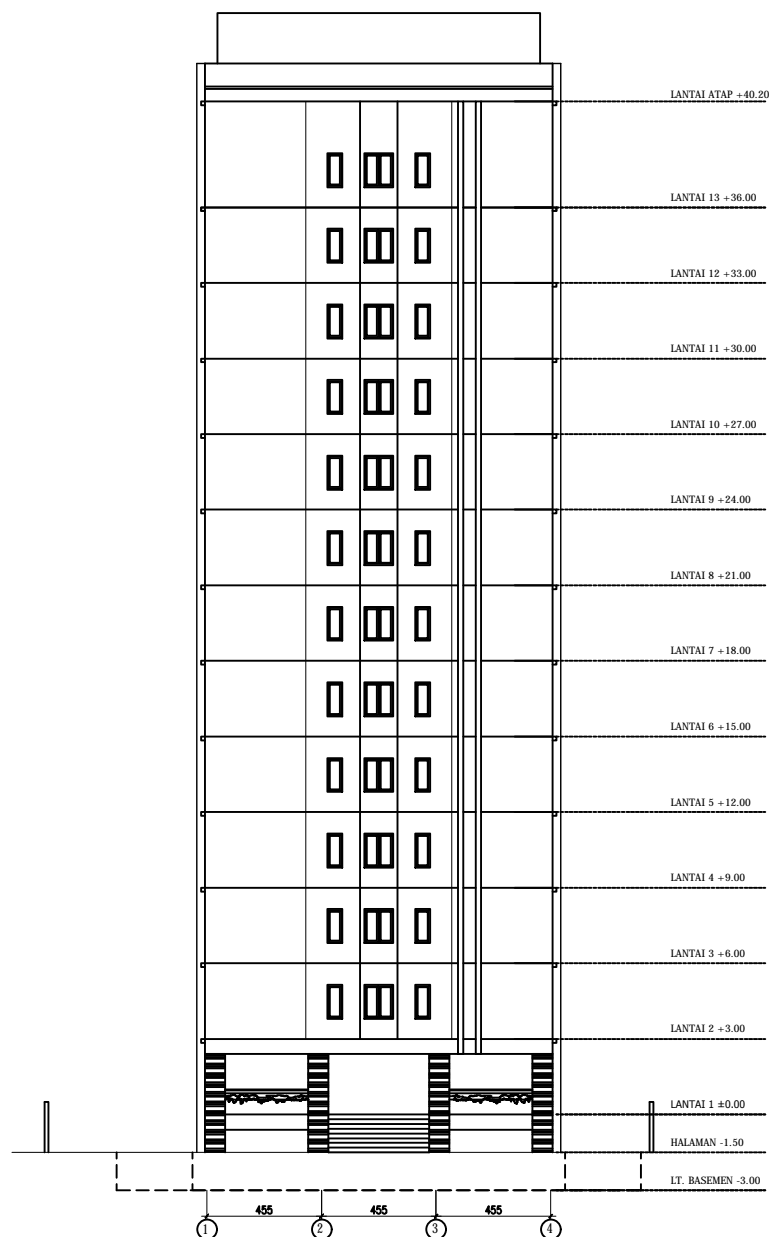
Pembimbing 2 :

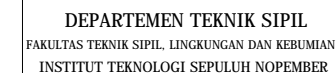
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

TAMPAK DEPAN DAN BELAKANG

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS	01	30





TUGAS AKHIR

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

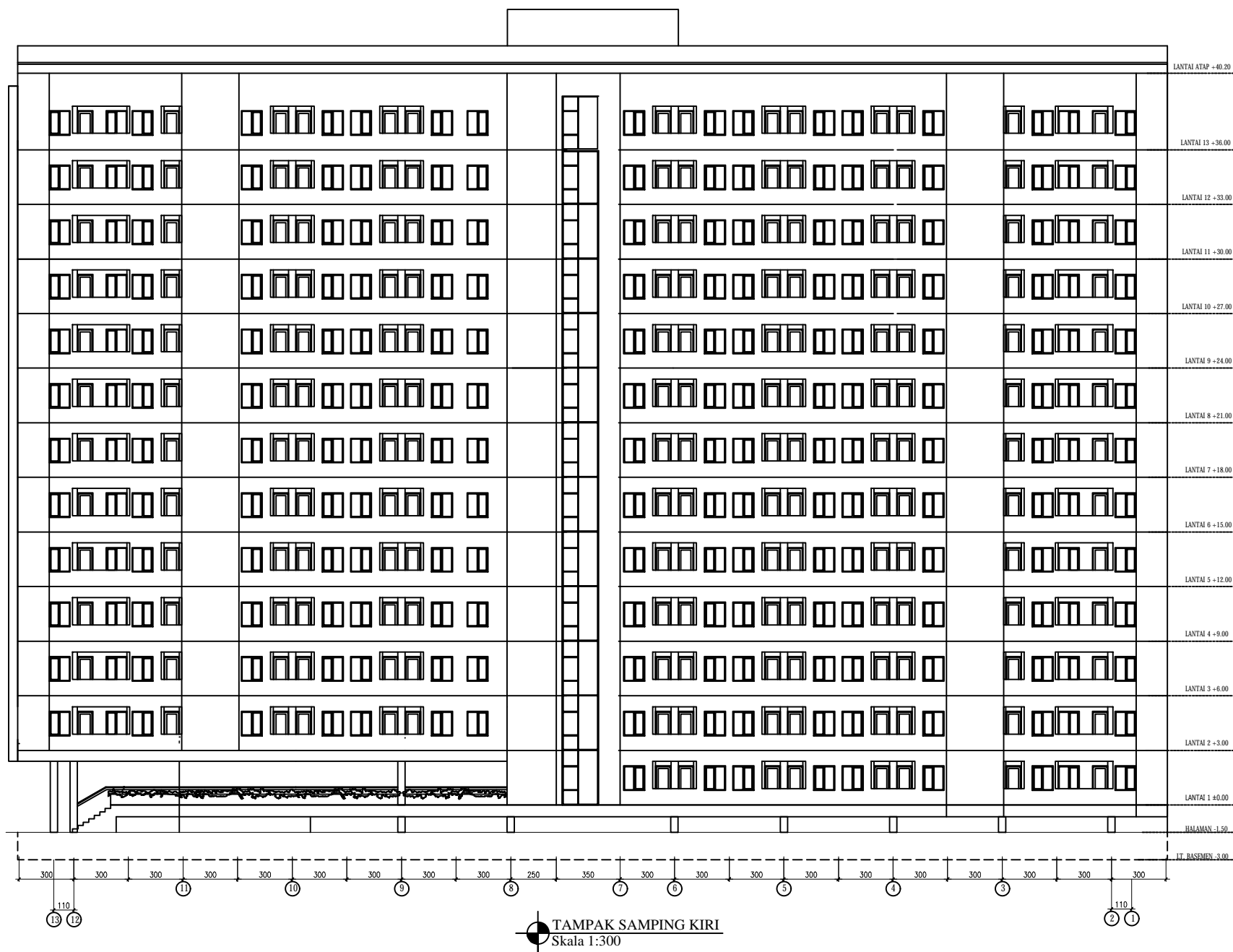
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

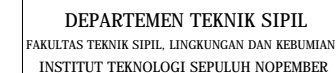
Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

TAMPAK SAMPING KIRI

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS	02	30





TUGAS AKHIR

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

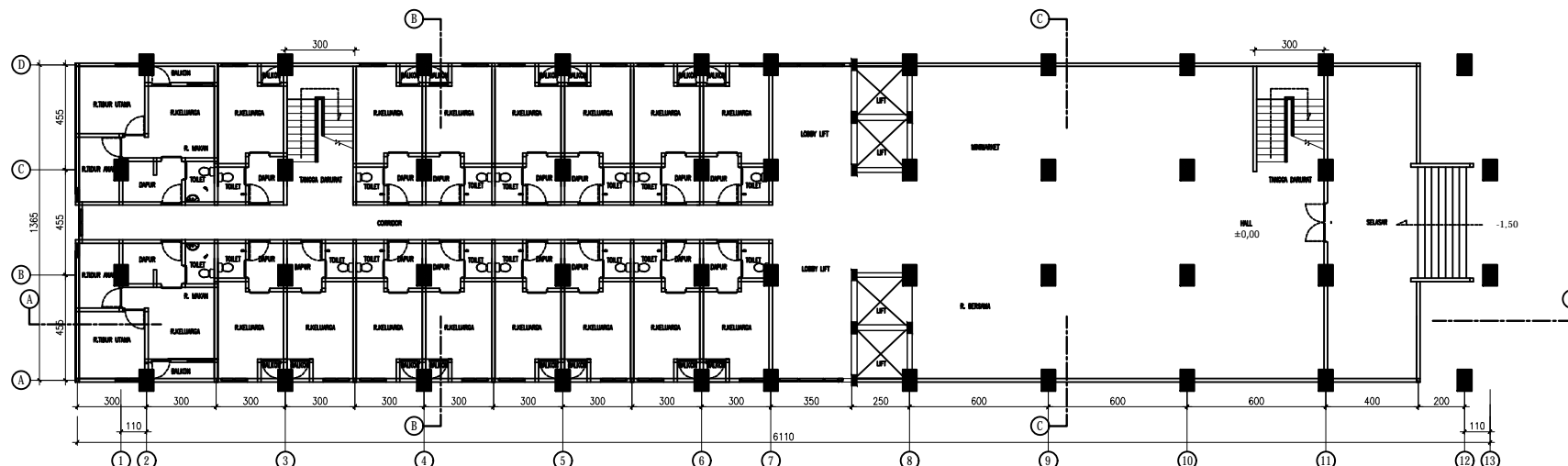
NAMA DOSEN PEMBIMBING :


Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka Pembimbing 2 : Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.
---

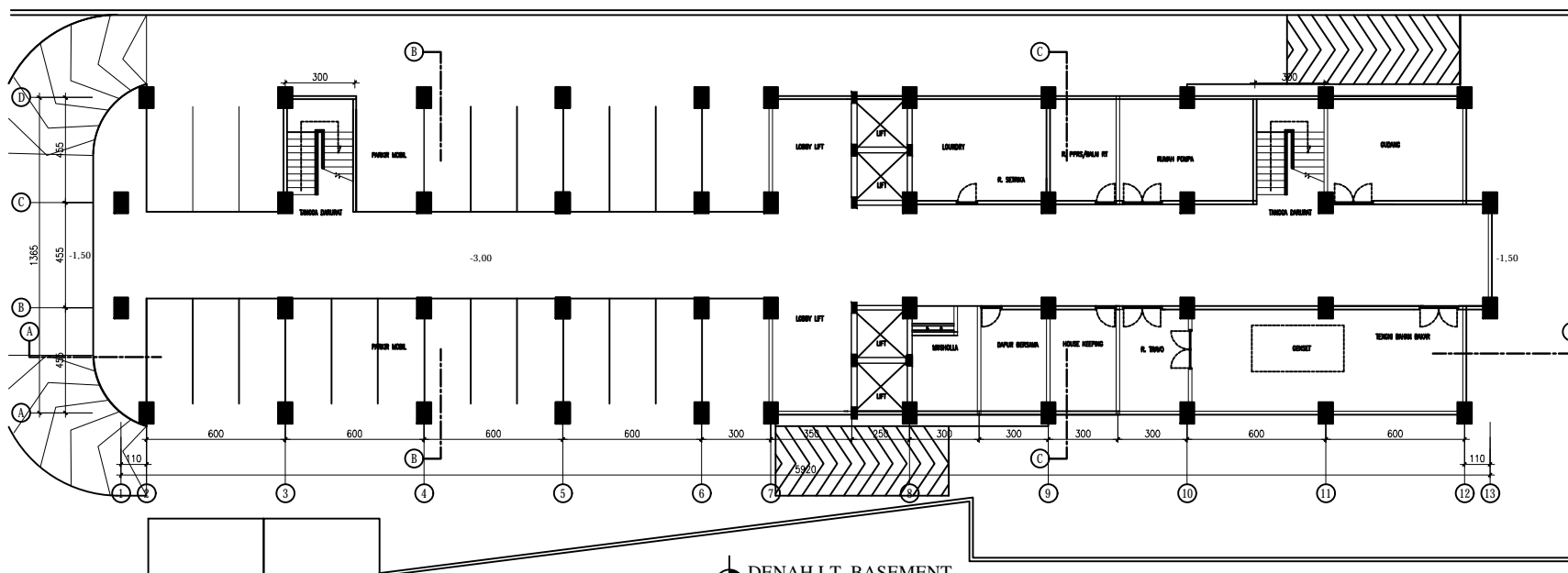
JUDUL GAMBAR :

DENAH LT. BASEMENT DAN LT. 1

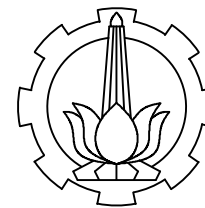
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS	03	30



 DENAH LT. 1  
Skala 1:300



DENAH LT. BASEMENT  
Skala 1:300



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

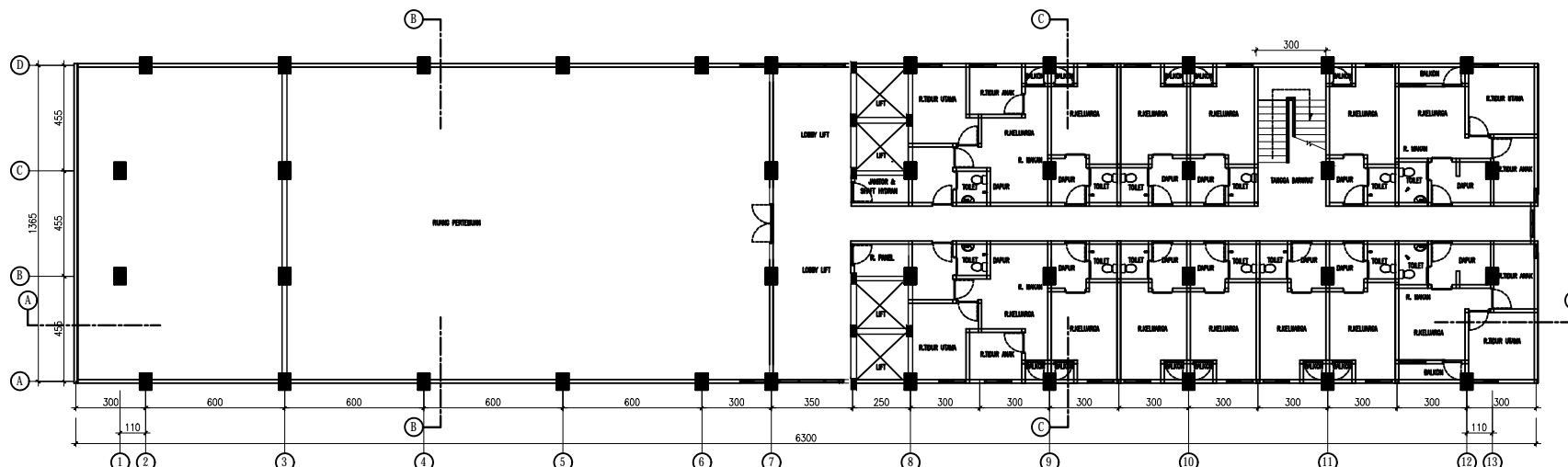
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

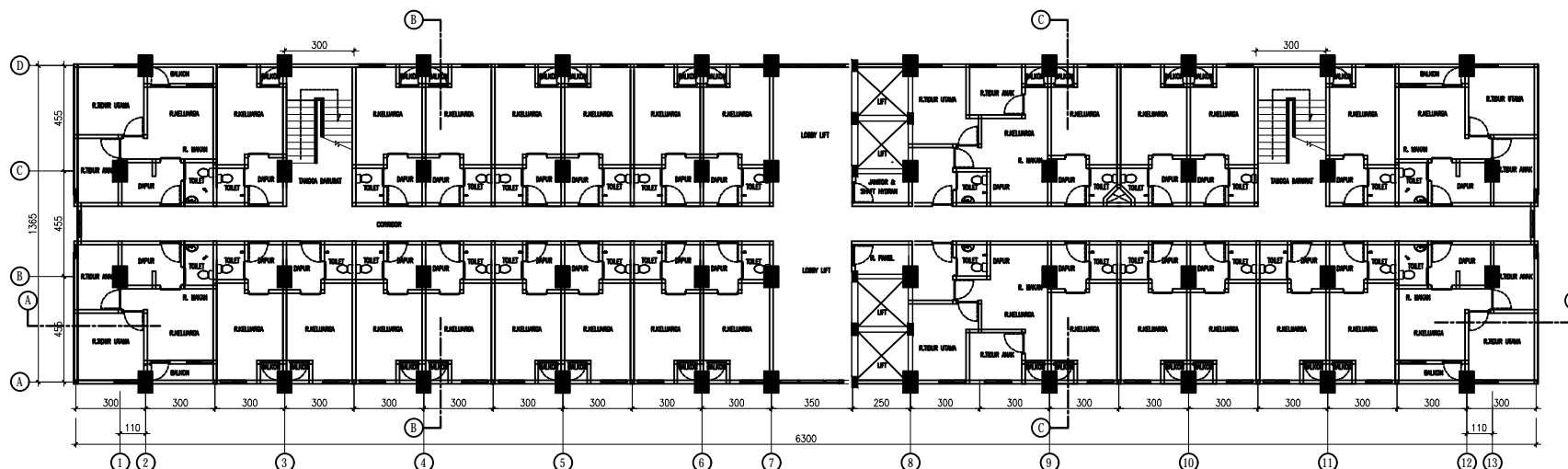
JUDUL GAMBAR :

DENAH LT. 2-12 DAN LT. 13

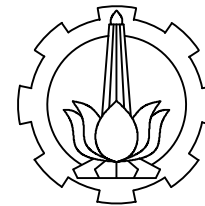
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS	04	30



DENAH LT. 13  
Skala 1:300



DENAH LT. 2-12  
Skala 1:300



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

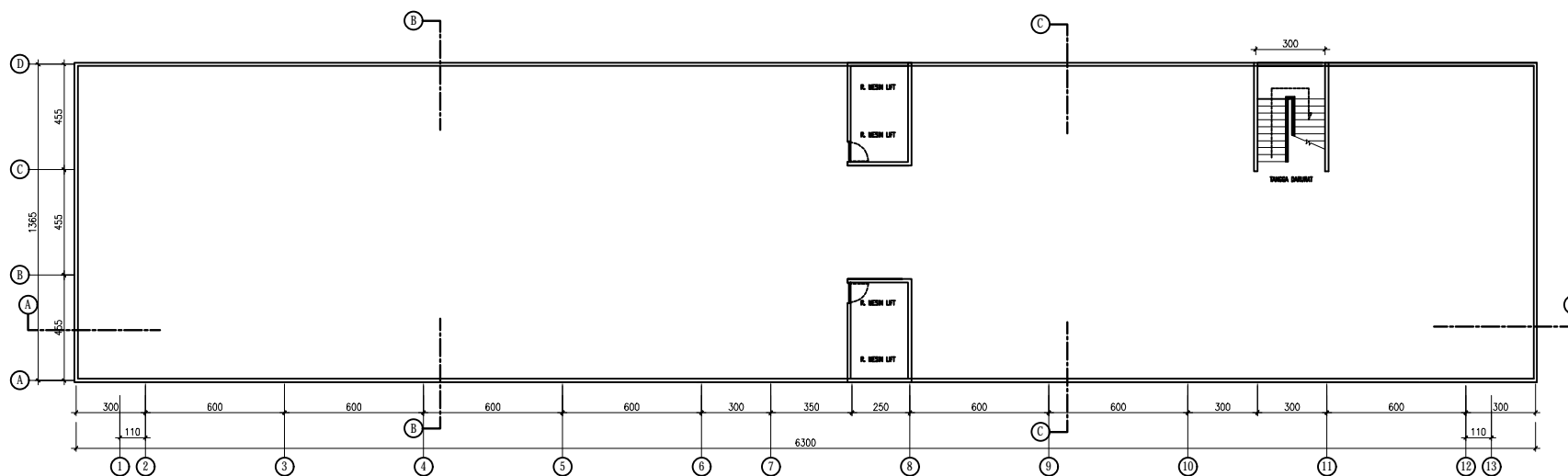
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

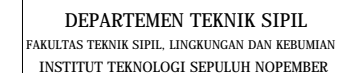
JUDUL GAMBAR :

DENAH LT. ATAP

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS	05	30



DENAH LT. ATAP  
Skala 1:300



TUGAS AKHIR

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

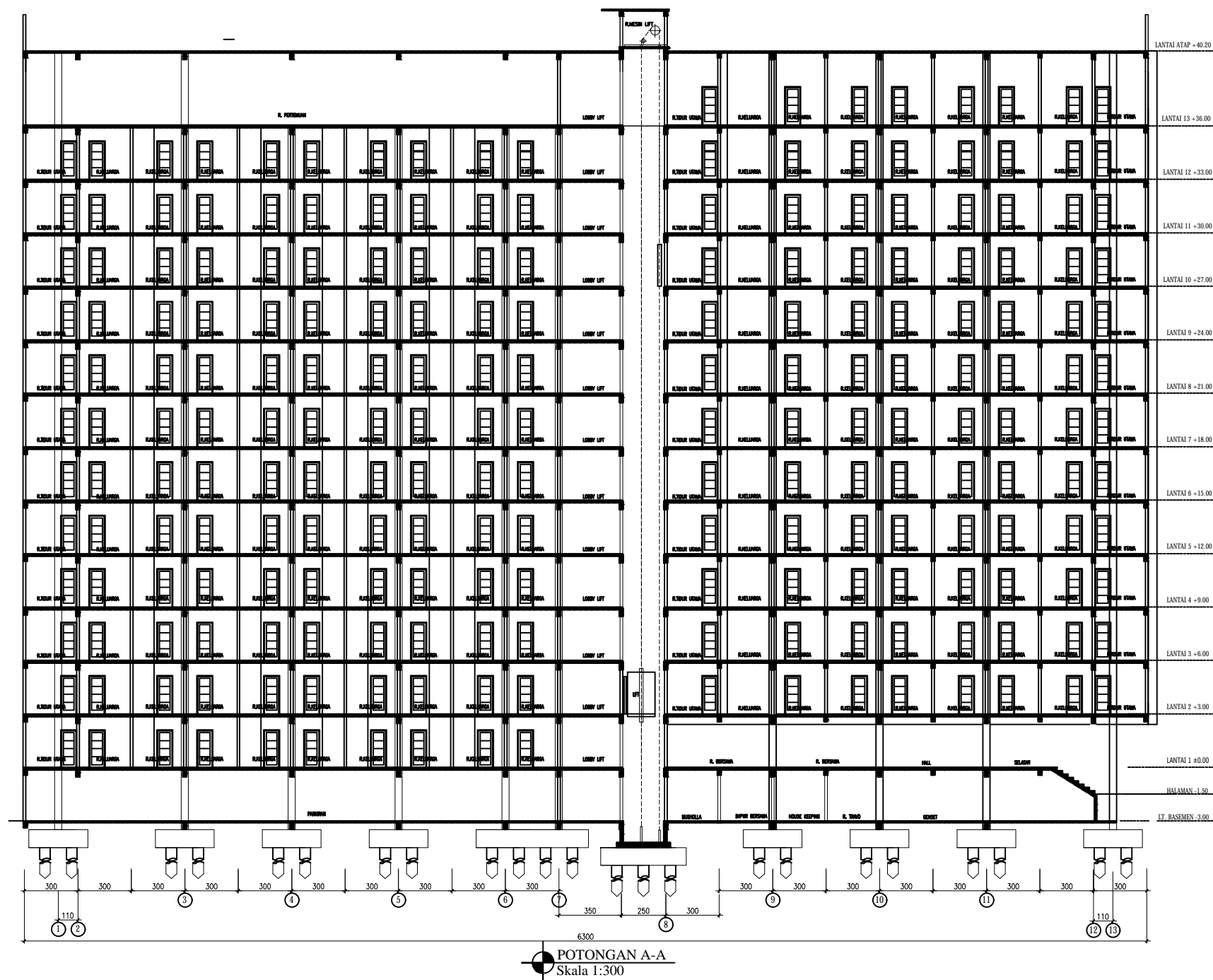
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka Pembimbing 2 : Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.
---

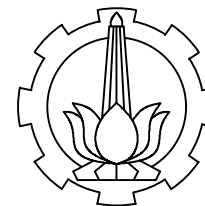
JUDUL GAMBAR :

POTONGA A-A

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS	06	30







DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

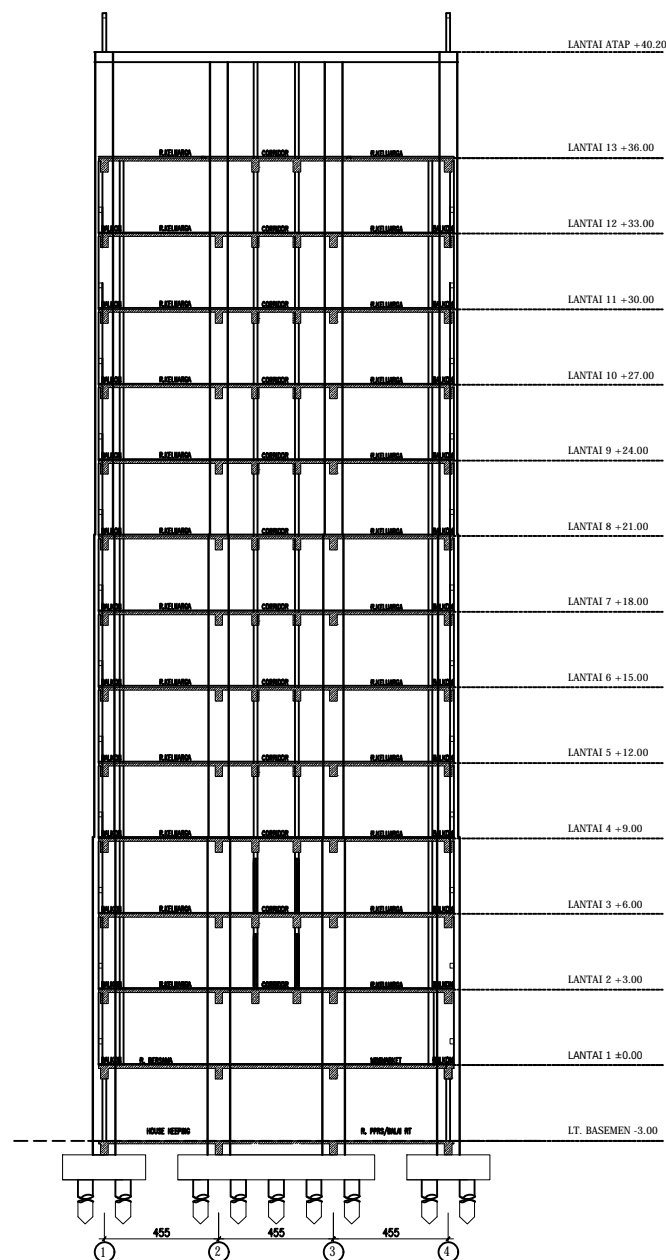
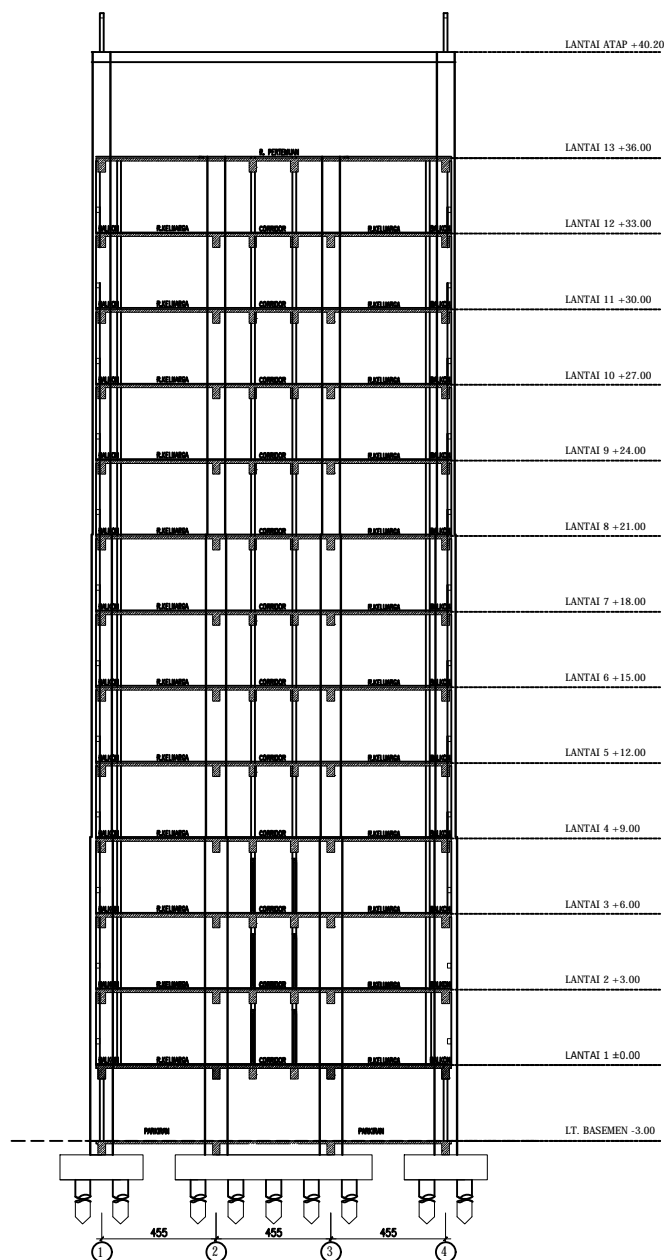
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

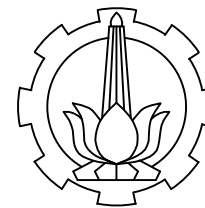
Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

POTONGAN B-B DAN C-C

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
ARS	07	30





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

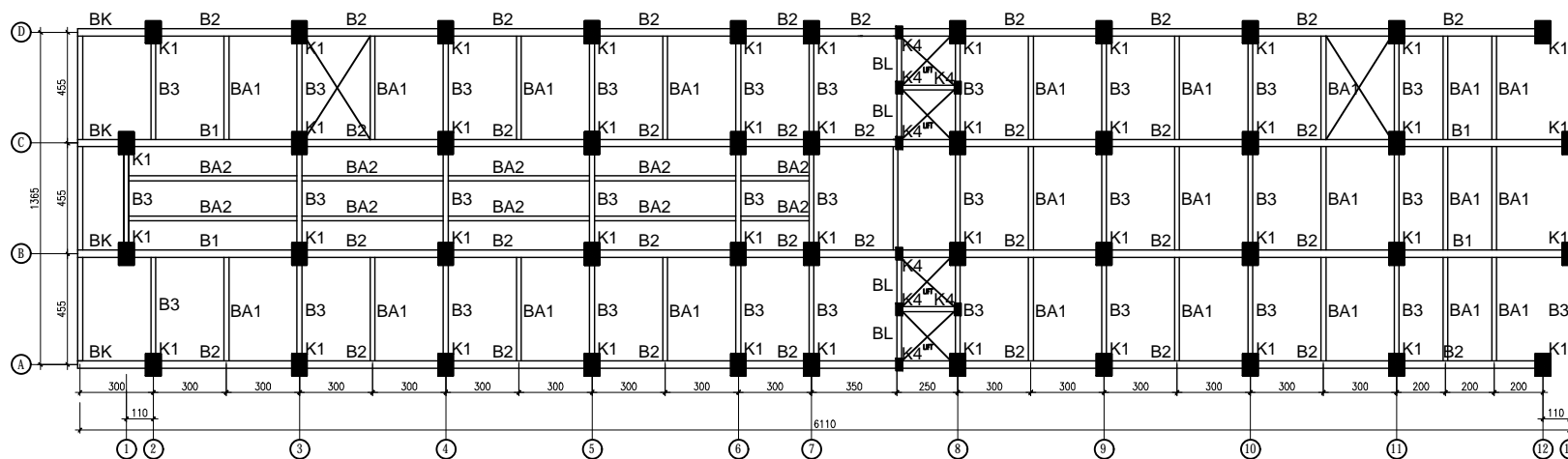
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

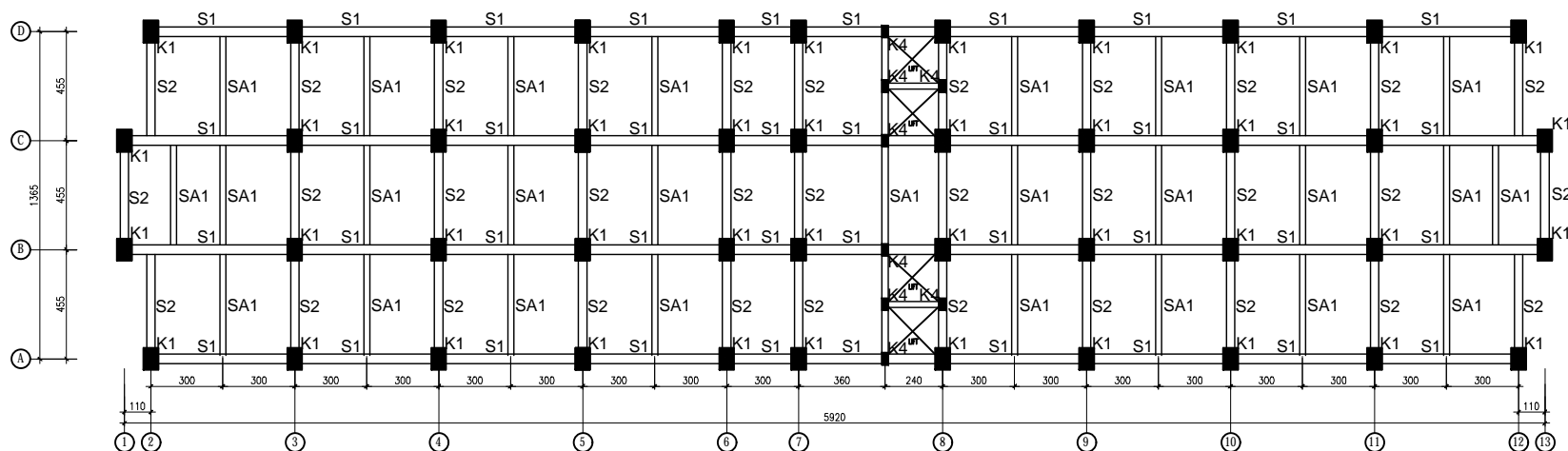
JUDUL GAMBAR :

DENAH SLOOF, BALOK &  
KOLOM LT. 1

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	08	30

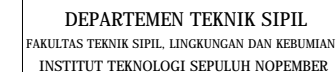


DENAH BALOK & KOLOM LT. 1  
Skala 1:300



DENAH SLOOF  
Skala 1:300

KODE	DIMENSI	KODE	DIMENSI
B1	40 x 60 cm	S2	35 x 50 cm
B2	40 x 60 cm	SA1	25 x 40 cm
B3	35 x 50 cm	BK	30 x 40 cm
BA1	25 x 40 cm	BL	25 x 40 cm
BA2	25 x 40 cm	K1	60 x 90 cm
S1	40 x 60 cm	K4	25 x 50 cm



TUGAS AKHIR

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

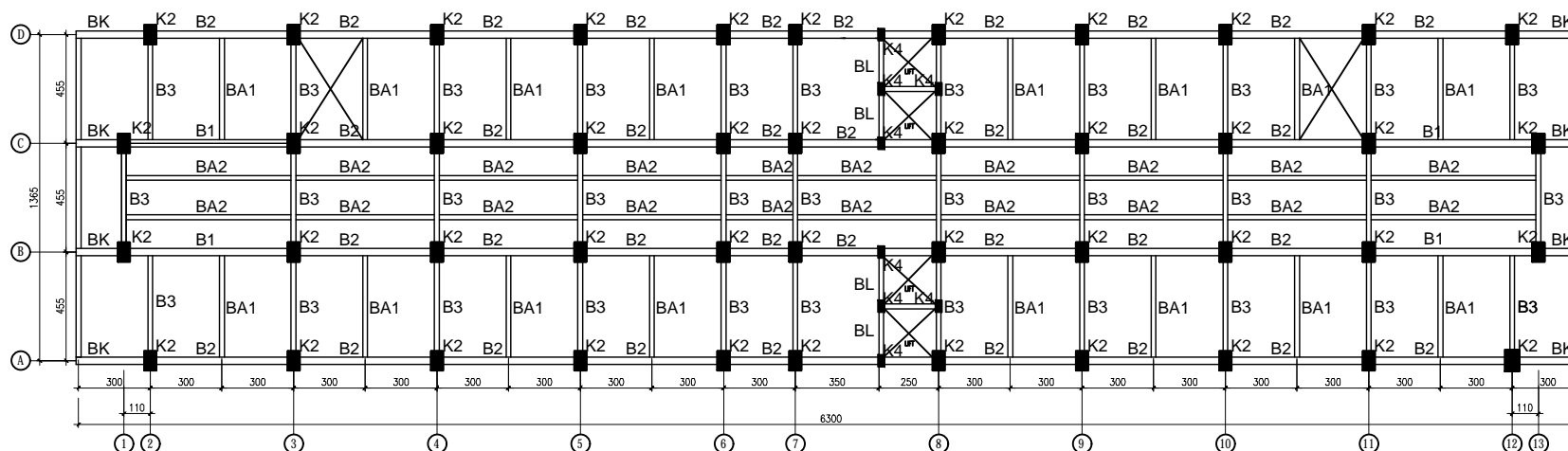
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka Pembimbing 2 : Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.
---

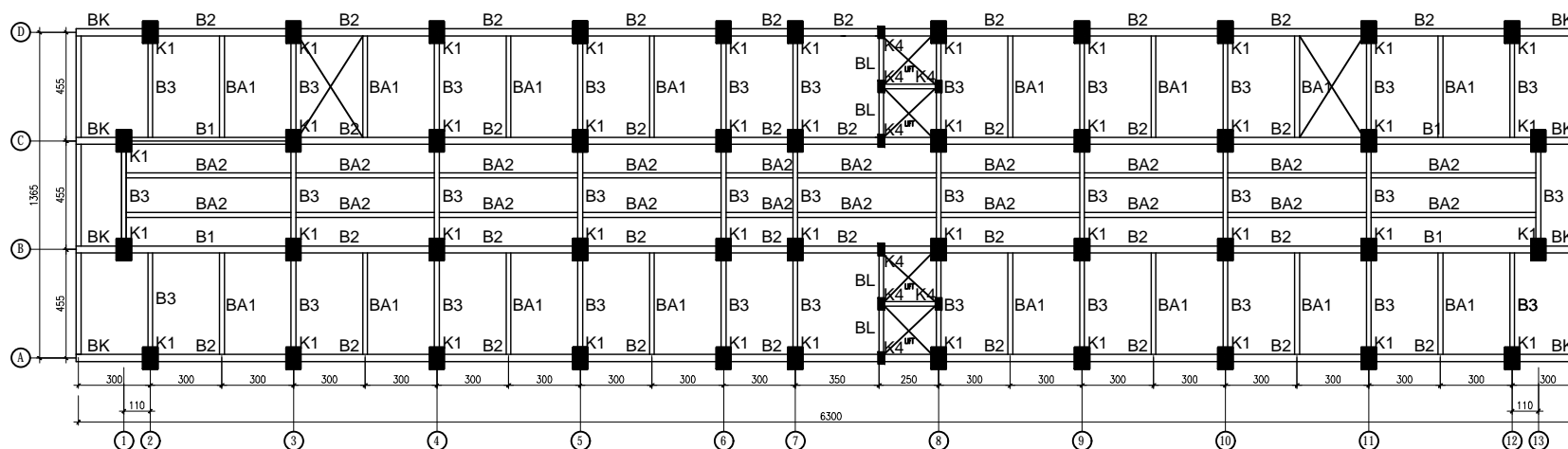
JUDUL GAMBAR :

DENAH BALOK & KOLOM LT. 2-4  
DAN LT. 5-8

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	09	30

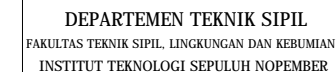


DENAH BALOK & KOLOM LT. 5-8  
Skala 1:300



DENAH BALOK & KOLOM LT. 2-4  
Skala 1:300

KODE	DIMENSI	KODE	DIMENSI
B1	40 x 60 cm	BK	30 x 40 cm
B2	40 x 60 cm	BL	25 x 40 cm
B3	35 x 50 cm	K1	60 x 90 cm
BA1	25 x 40 cm	K2	50 x 80 cm
BA2	25 x 40 cm	K4	25 x 50 cm



## TUGAS AKHIR

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

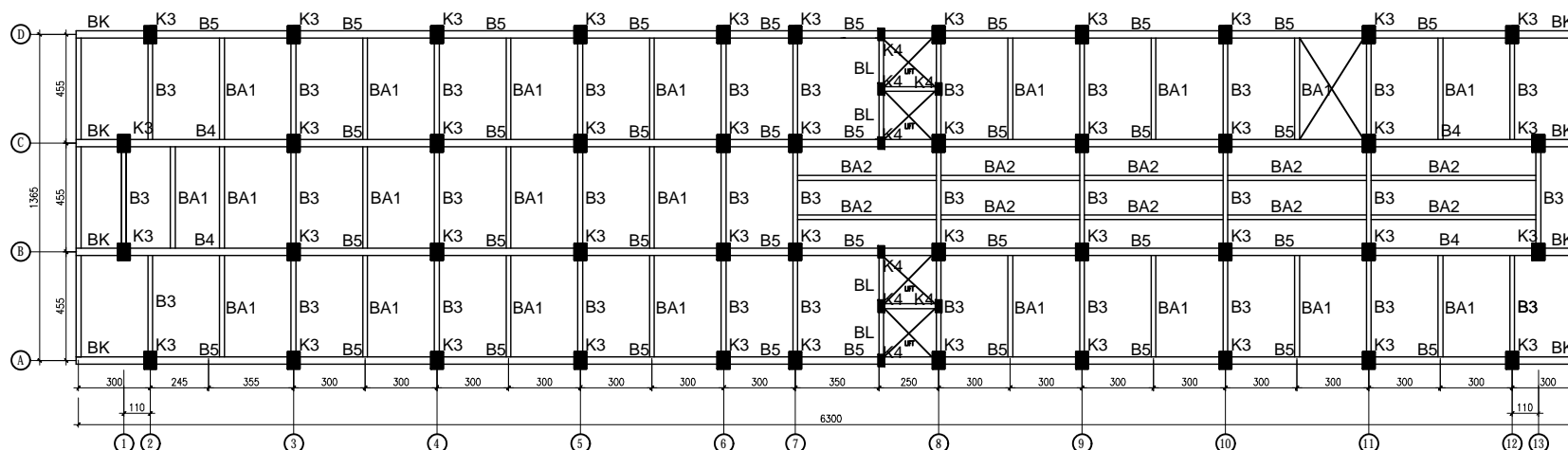
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka Pembimbing 2 : Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.
---

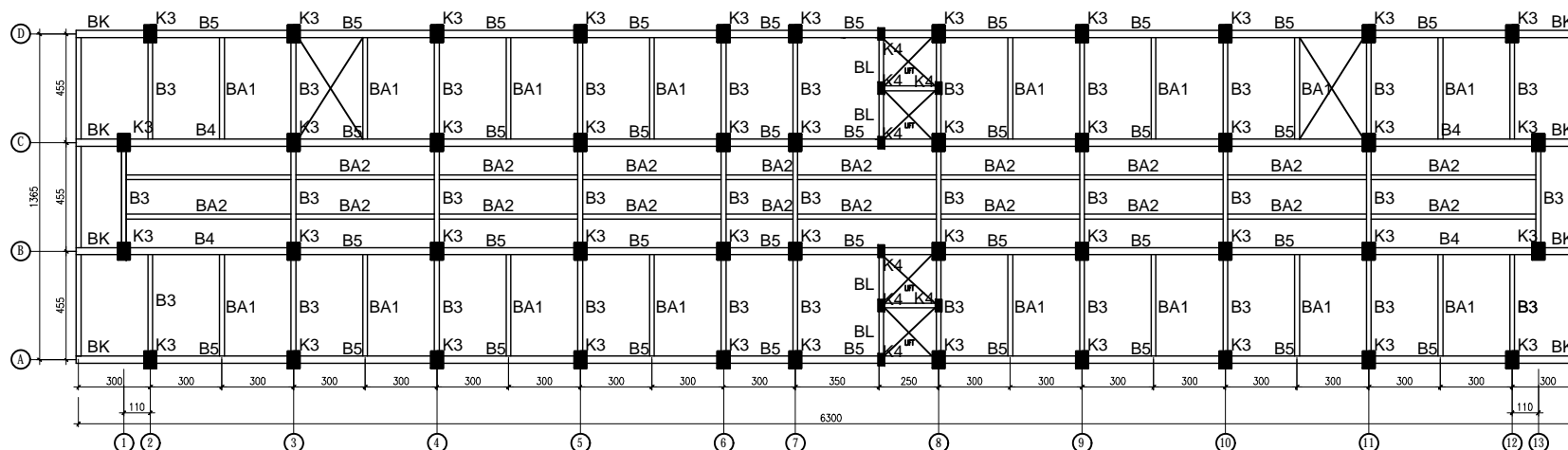
JUDUL GAMBAR :

DENAH BALOK & KOLOM LT. 9-12  
DAN LT. 13

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	10	30

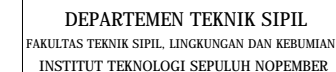


DENAH BALOK & KOLOM LT. 13  
Skala 1:300



DENAH BALOK & KOLOM LT. 9-12  
Skala 1:300

KODE	DIMENSI	KODE	DIMENSI
B4	40 x 60 cm	BK	30 x 40 cm
B5	40 x 60 cm	BL	25 x 40 cm
B3	35 x 50 cm	K3	50 x 70 cm
BA1	25 x 40 cm	K4	25 x 50 cm
BA2	25 x 40 cm		



JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

**JUDUL TUGAS AKHIR :**

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :
----------------

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

Pembimbing 2 :

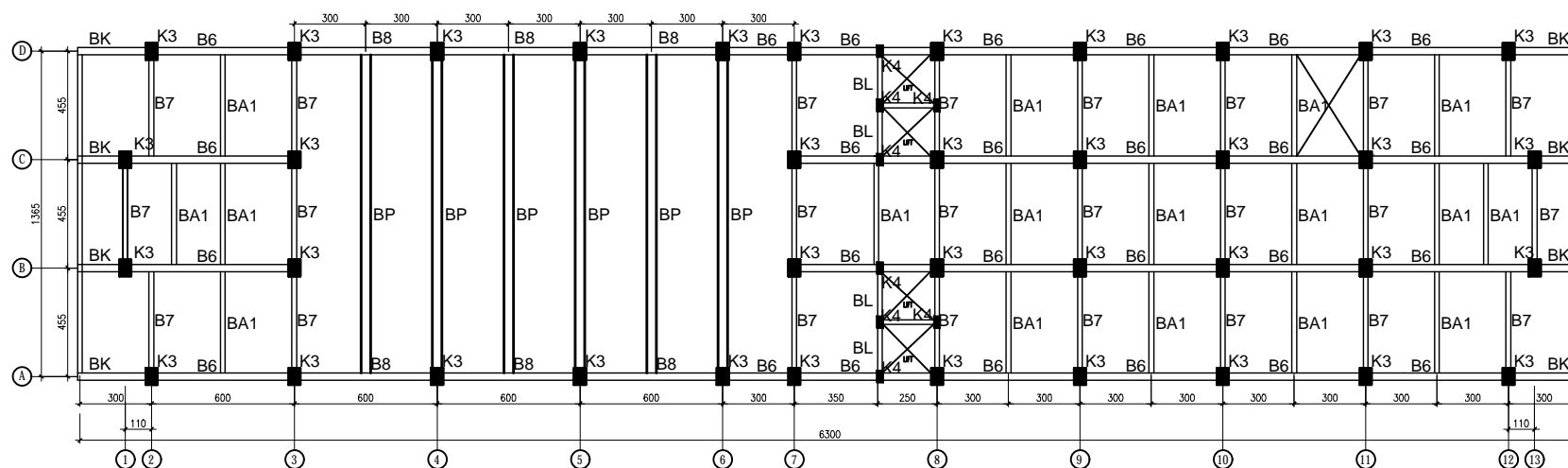
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

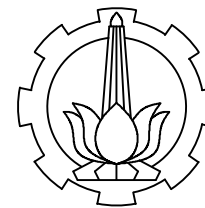
DENAH BALOK & KOLOM LT. ATAP

KODE	DIMENSI	KODE	DIMENSI
B6	40 x 60 cm	BK	30 x 40 cm
B7	35 x 50 cm	BL	25 x 40 cm
B8	40 x 70 cm	K3	50 x 70 cm
BP	40 x 70 cm	K4	25 x 50 cm
BA1	25 x 40 cm		

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	11	30



 DENAH BALOK & KOLOM LT. ATAP  
Skala 1:300



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

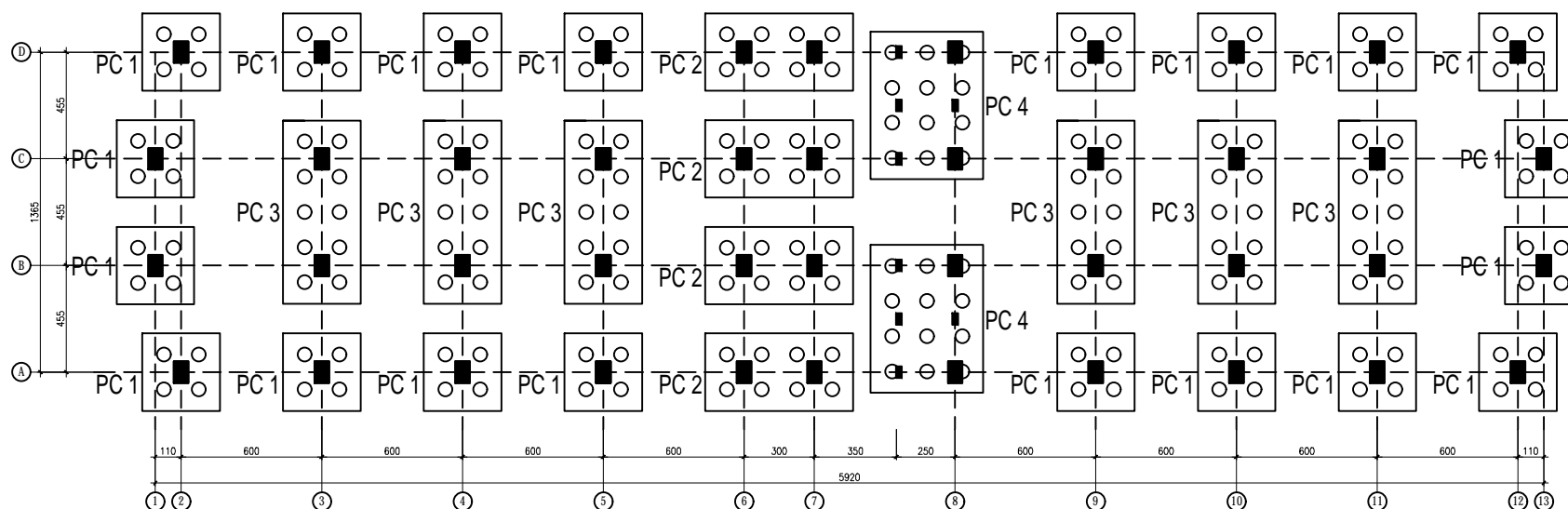
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

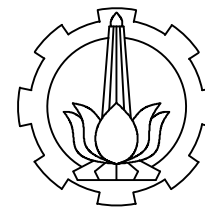
DENAH PONDASI

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	12	30



DENAH RENCANA PONDASI  
Skala 1:300

KODE	DIMENSI
PC1	3,3 x 3,3 m
PC2	3,3 x 6,3 m
PC3	3,3 x 7,8 m
PC4	4,8 x 6,3 m



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

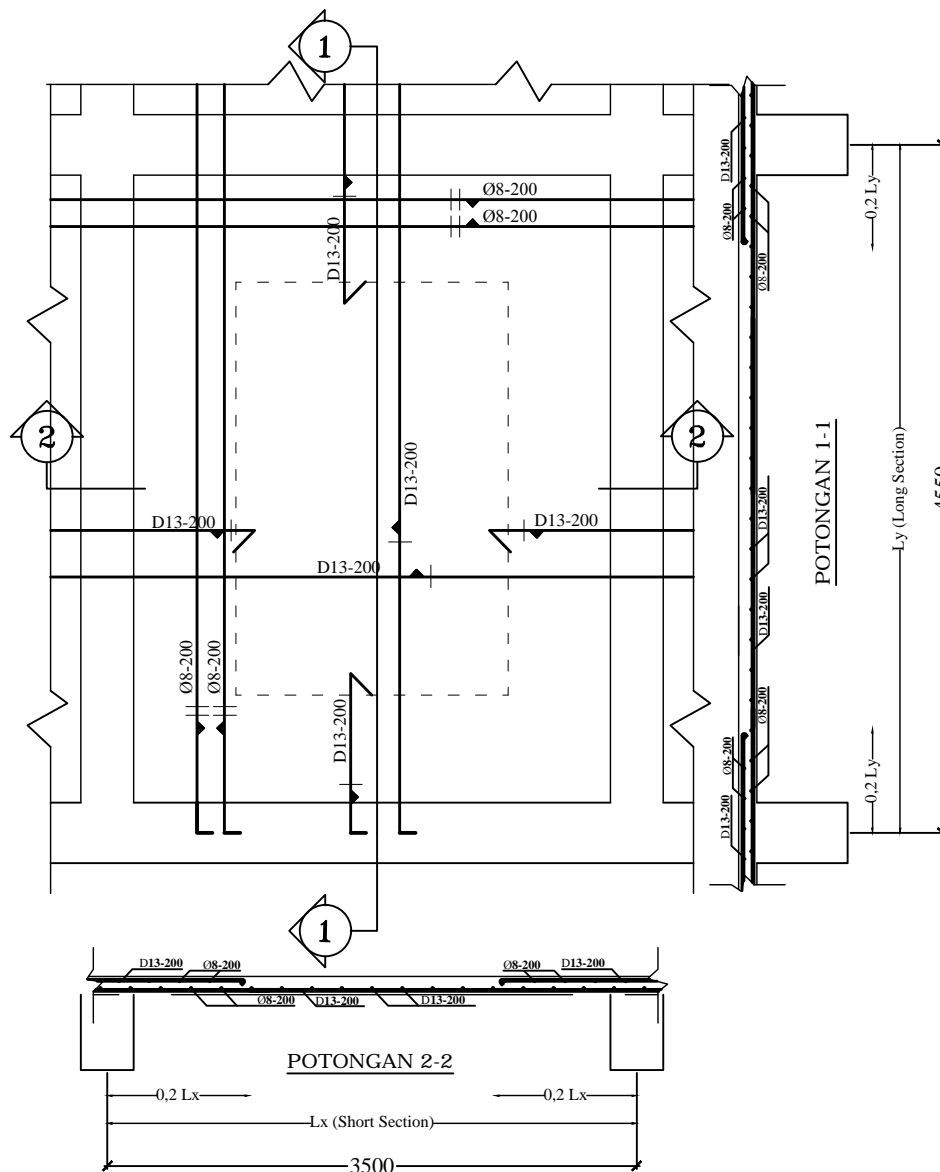
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

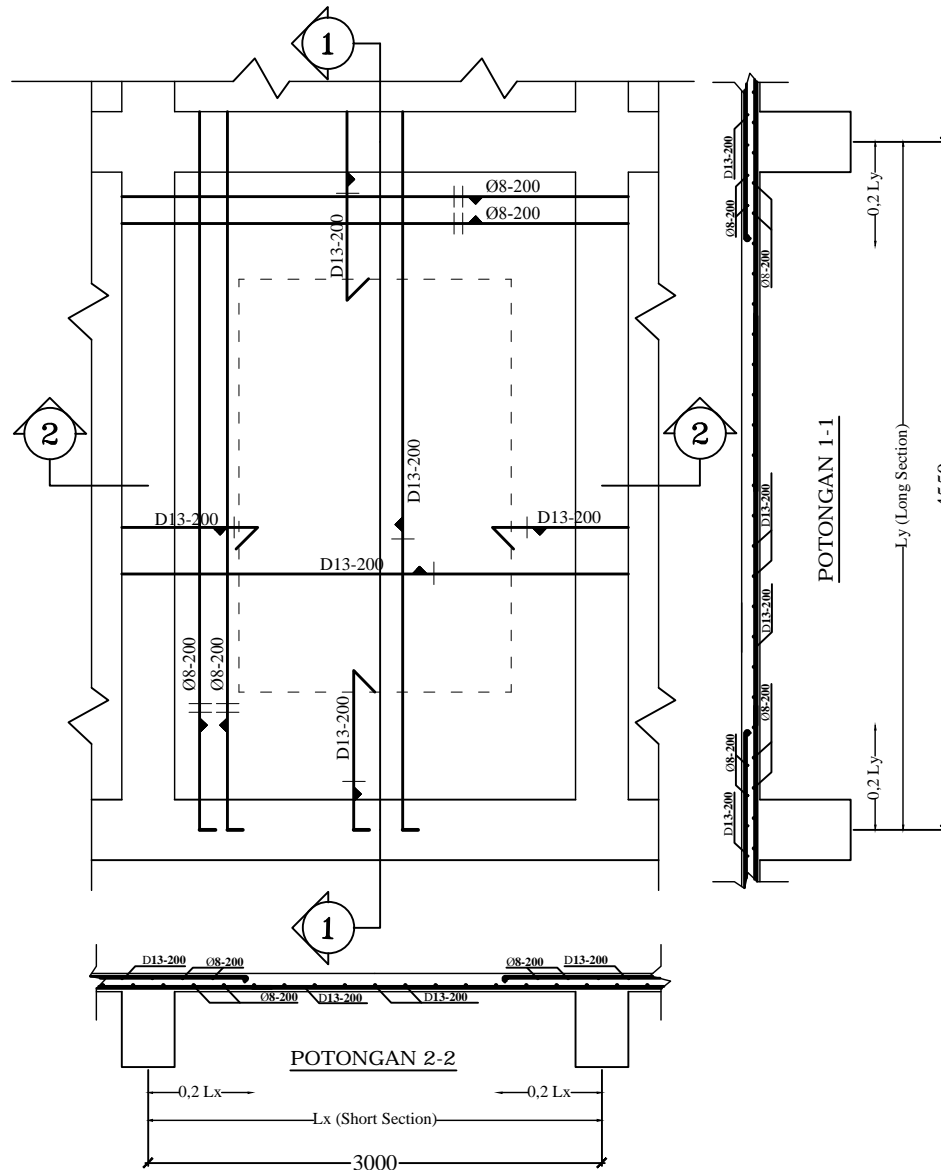
JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN PELAT TIPE P1

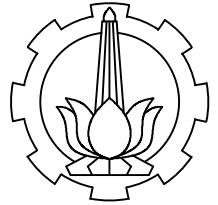
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	13	30



 **PENULANGAN PELAT TIPE P1**  
Skala 1:50



 **PENULANGAN PELAT TIPE P2**  
Skala 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

NAMA DOSEN PEMBIMBING :

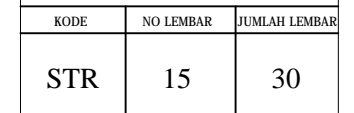
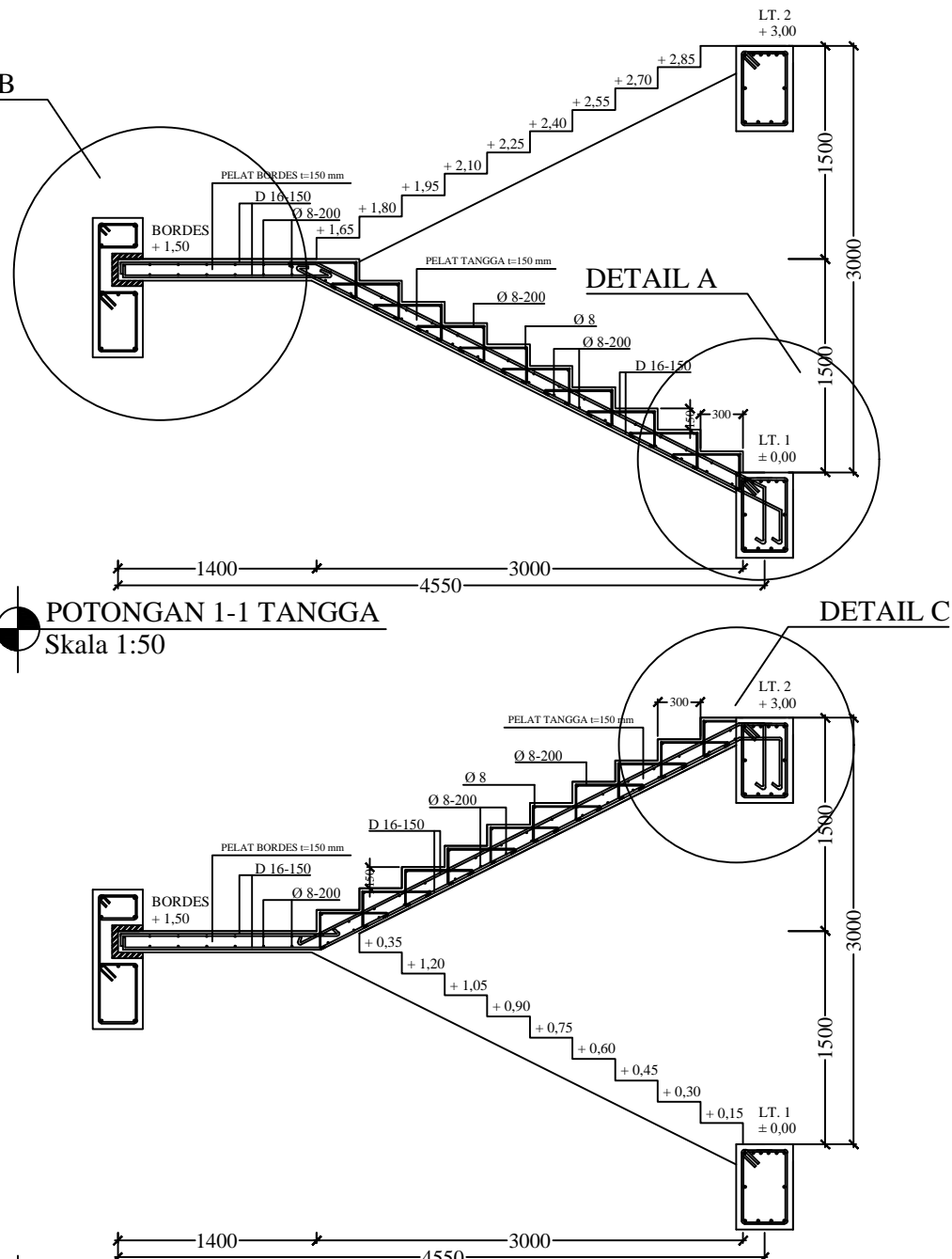
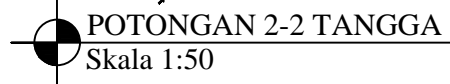
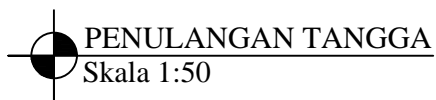
Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

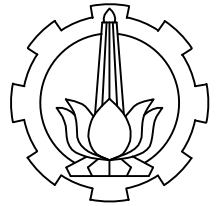
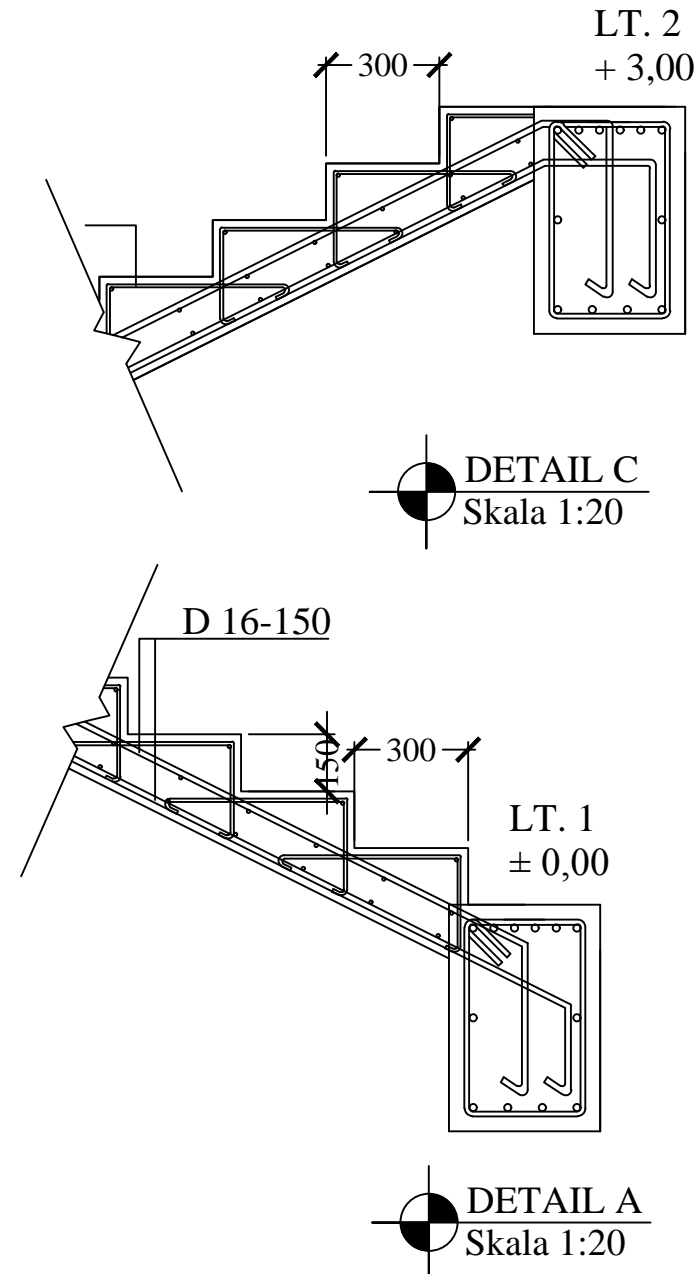
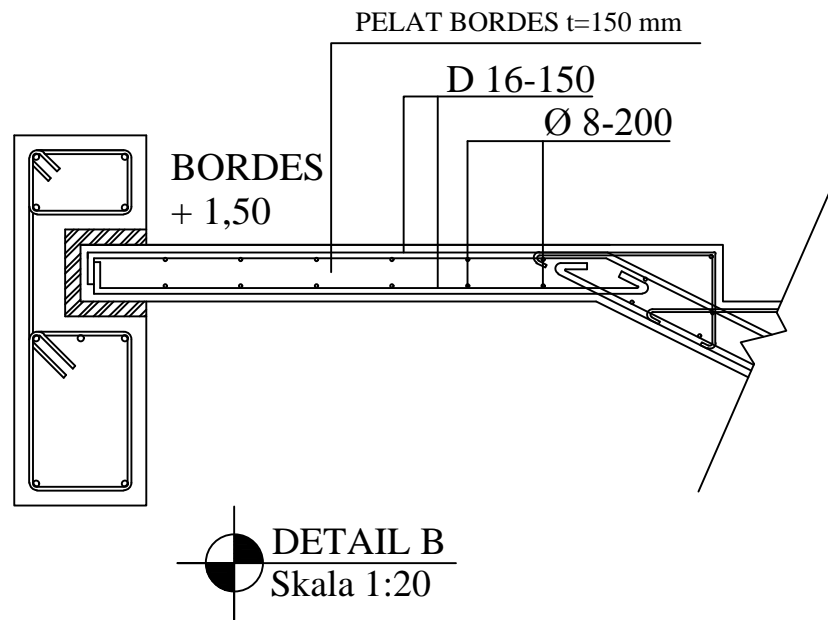
JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN PELAT TIPE P2

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	14	30







DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

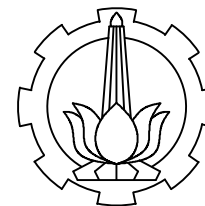
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

DETAIL PENULANGAN TANGGA

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	16	30



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

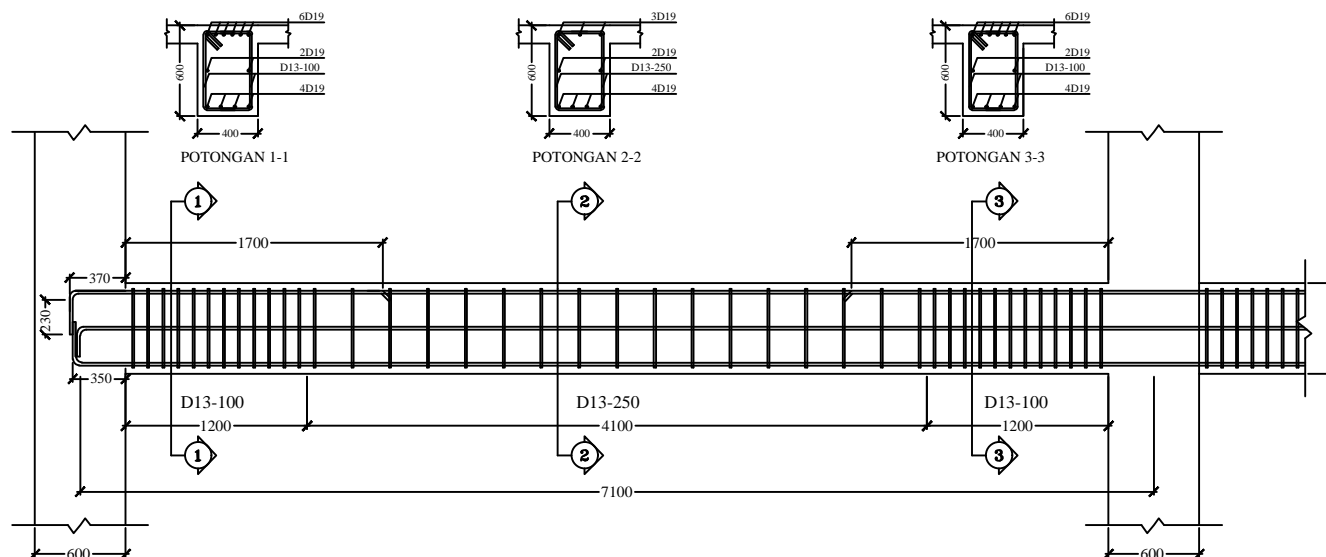
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

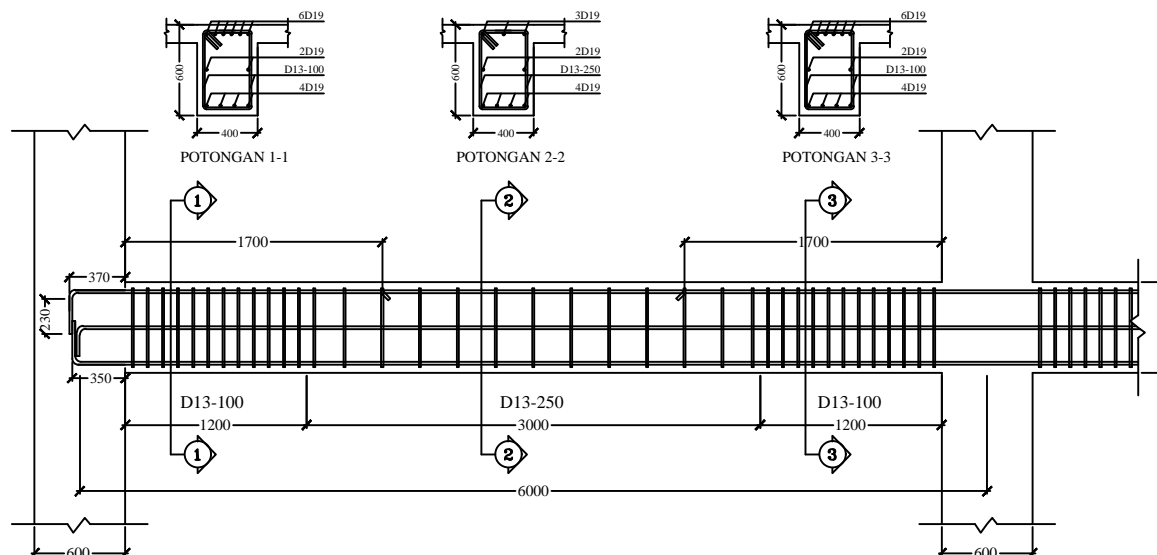
JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN BALOK TIPE  
B1 DAN B2

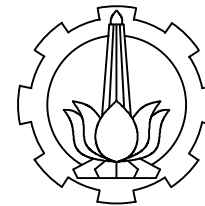
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	17	30



**PENULANGAN BALOK TIPE B1**  
Skala 1:50



**PENULANGAN BALOK TIPE B2**  
Skala 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

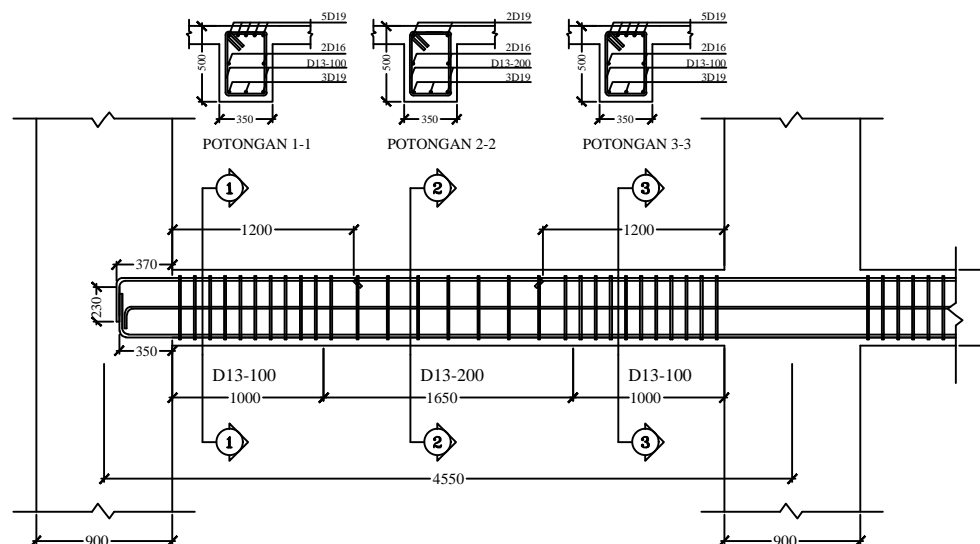
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

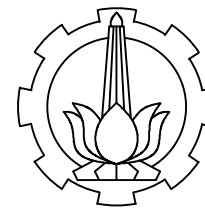
JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN BALOK TIPE B3

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	18	30



 **PENULANGAN BALOK TIPE B3**  
Skala 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

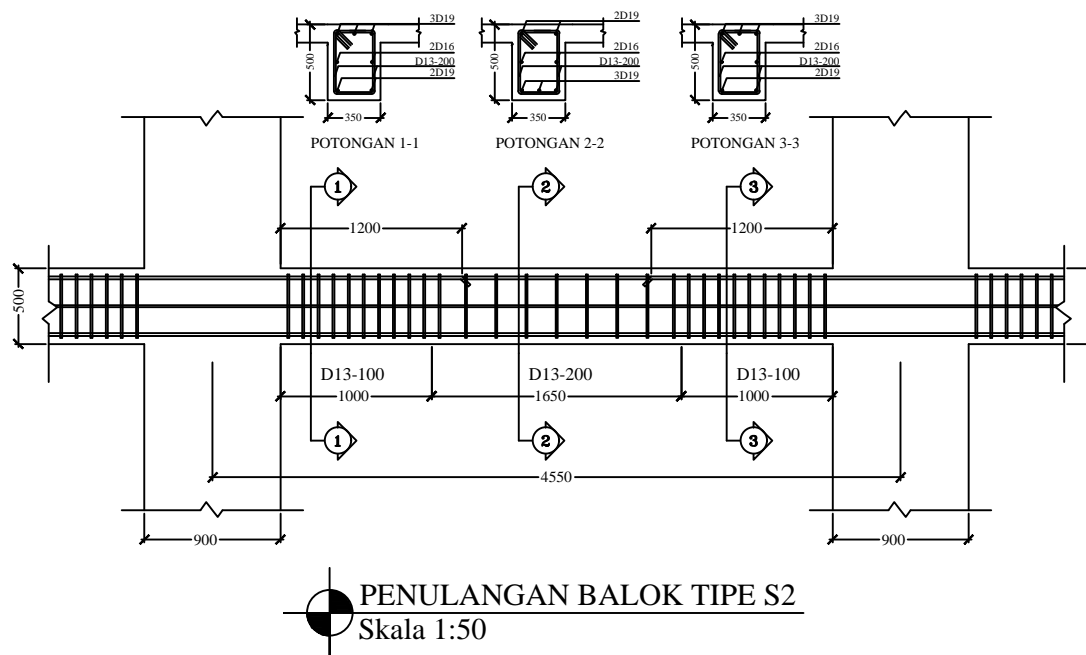
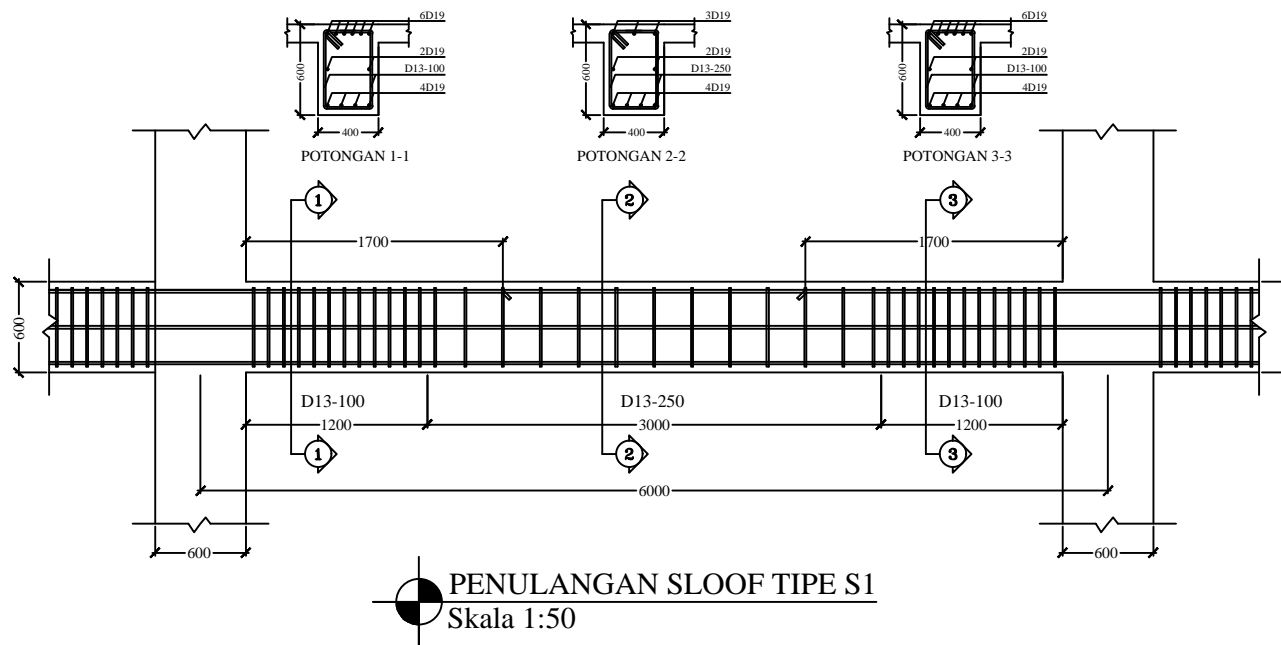
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

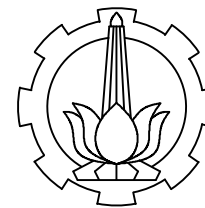
Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN SLOOF TIPE  
S1 DAN S2

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	19	30





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

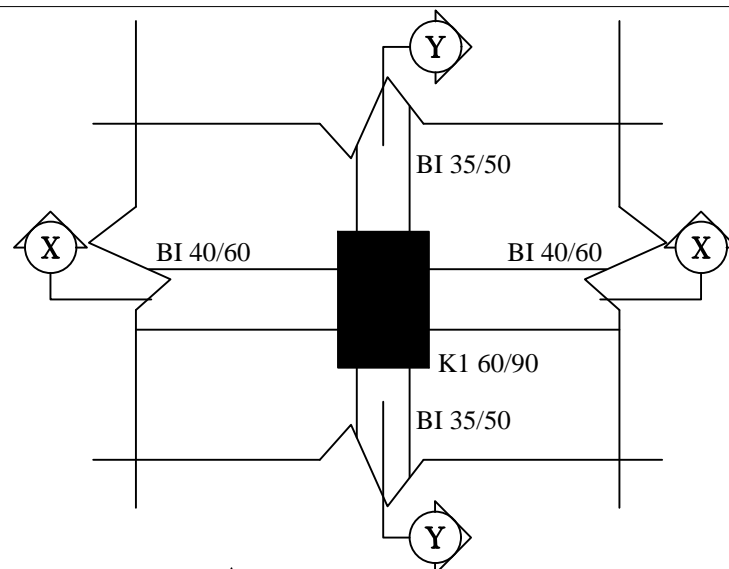
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

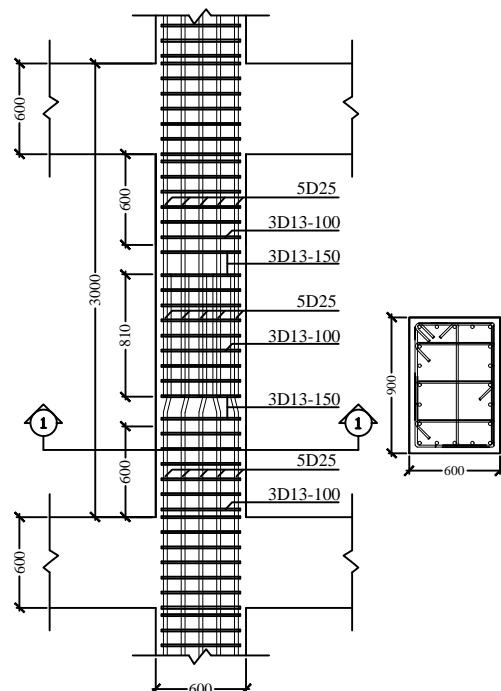
JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN KOLOM TIPE K1

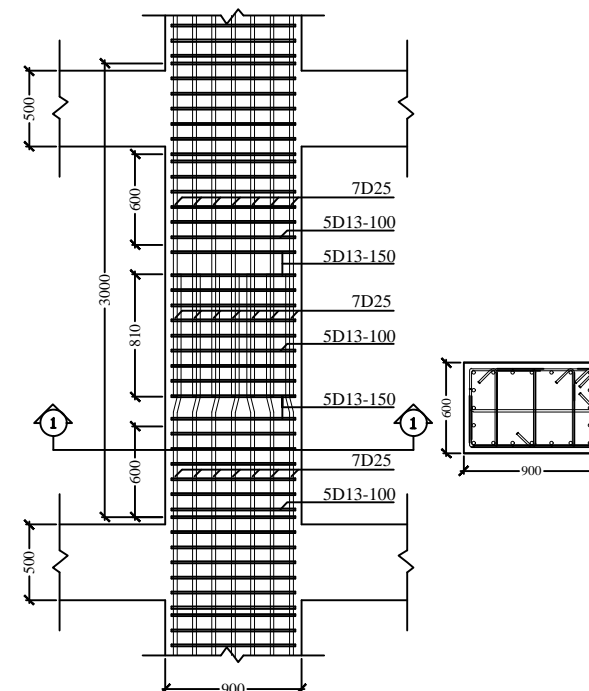
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	20	30



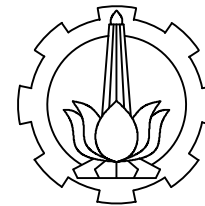
**DENAH KOLOM TIPE K1**  
Skala 1:50



**PENULANGAN KOLOM POT. X-X**  
Skala 1:50



**PENULANGAN KOLOM POT. Y-Y**  
Skala 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

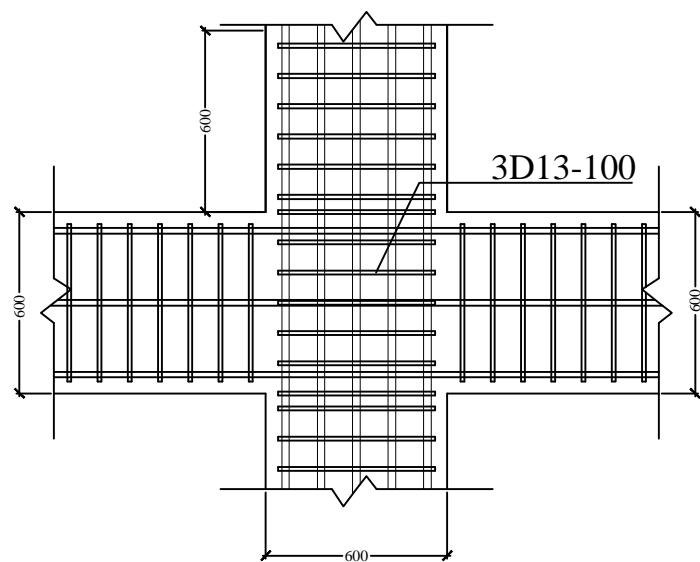
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

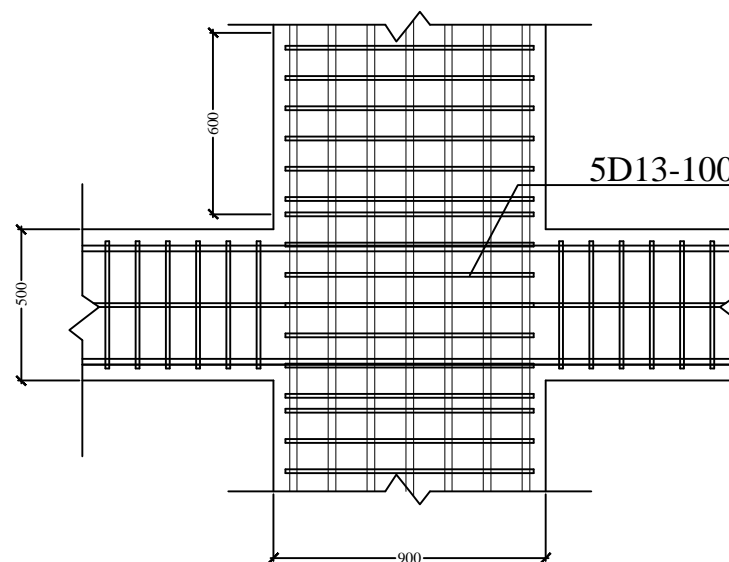
JUDUL GAMBAR :

DETAIL HBK

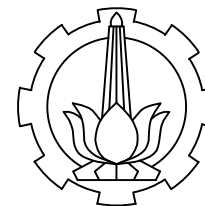
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	21	30



DETAIL HBK POT. X-X  
Skala 1:25



DETAIL HBK POT. Y-Y  
Skala 1:25



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

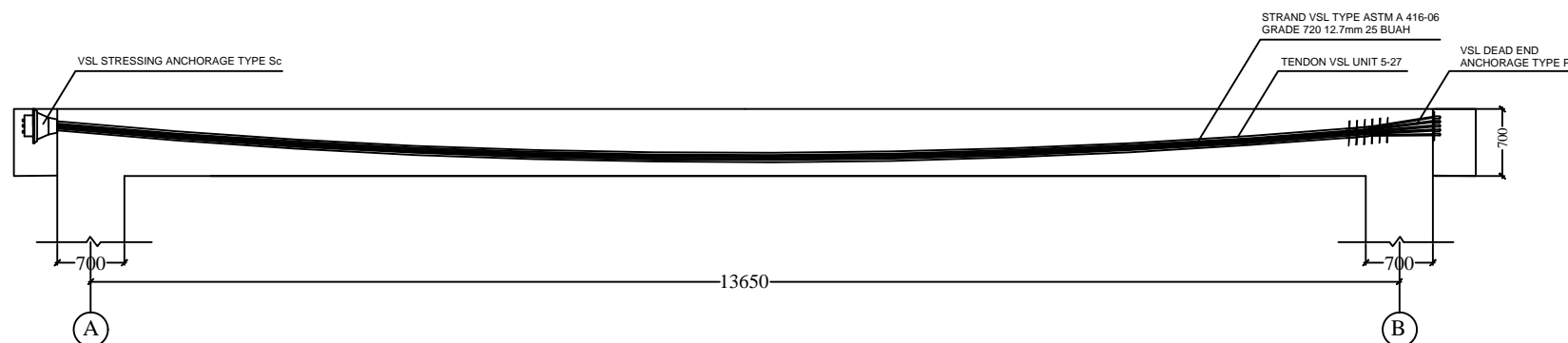
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

POSISI DAN KOORDINAT TENDON  
BALOK PRATEKAN

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	22	30

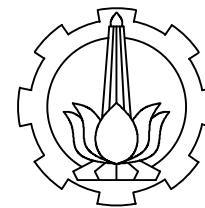


POSISI TENDON PRATEKAN  
Skala 1:75

x (mm)	0	700	1625	2550	3475	4400	5325	6250	7175	8100	9250	9950	10875	11800	12725	13650	14350
y (mm)	100	38,64	-32,72	-93,05	-142,38	-180,73	-208,10	-224,53	-230	-224,53	-208,10	-180,73	-142,38	-93,05	-32,72	38,64	100

KOORDINAT TENDON PRATEKAN  
Skala 1:75





DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

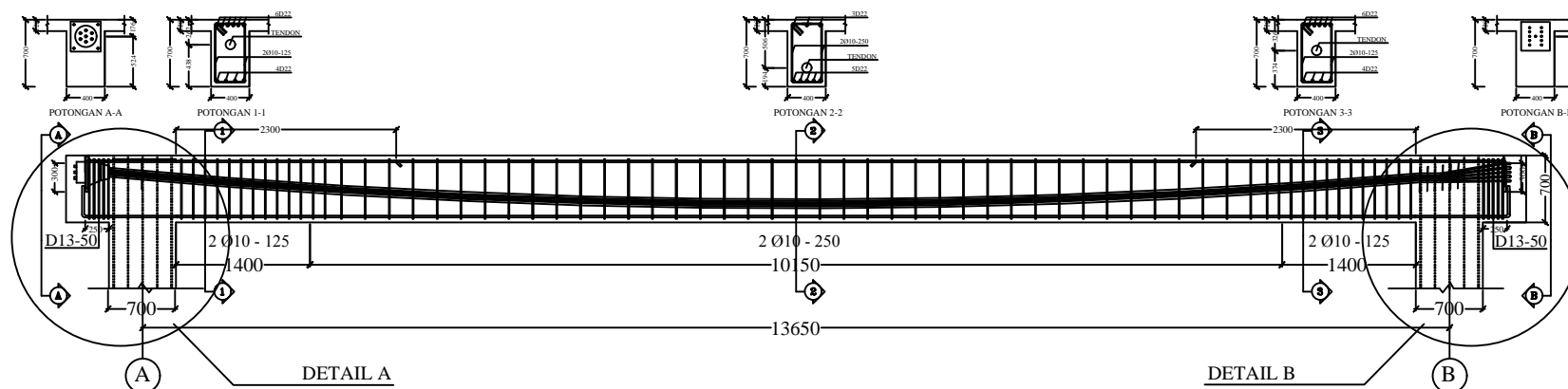
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

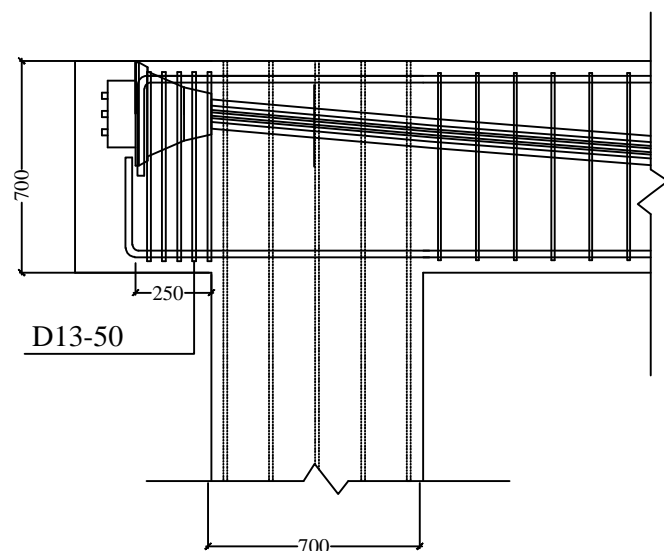
JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN BALOK PRATEKAN  
DAN DETAIL

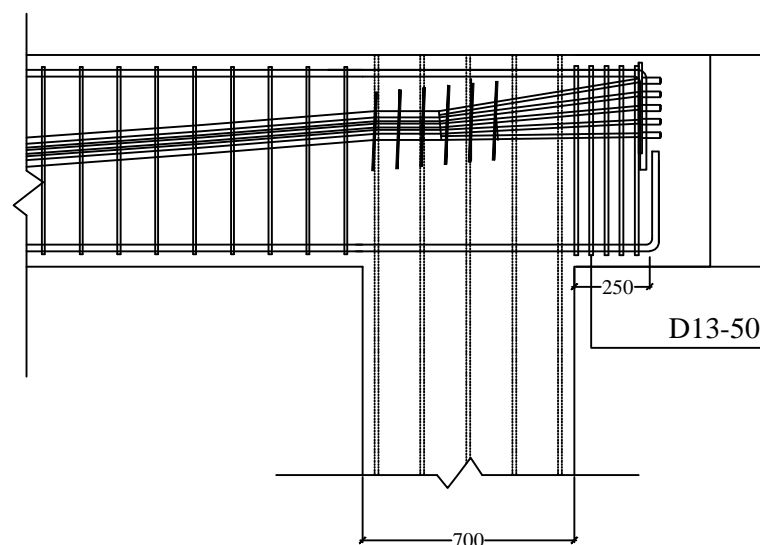
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	23	30



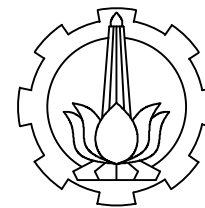
POSISI TENDON PRATEKAN  
Skala 1:75



DETAIL A  
Skala 1:25



DETAIL B  
Skala 1:25



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

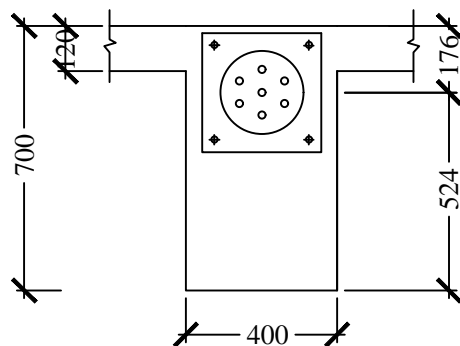
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

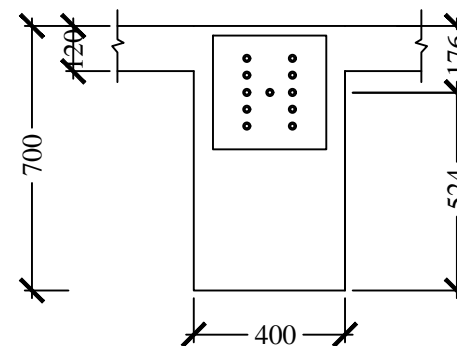
JUDUL GAMBAR :

DETAIL POTONGAN A-A DAN B-B

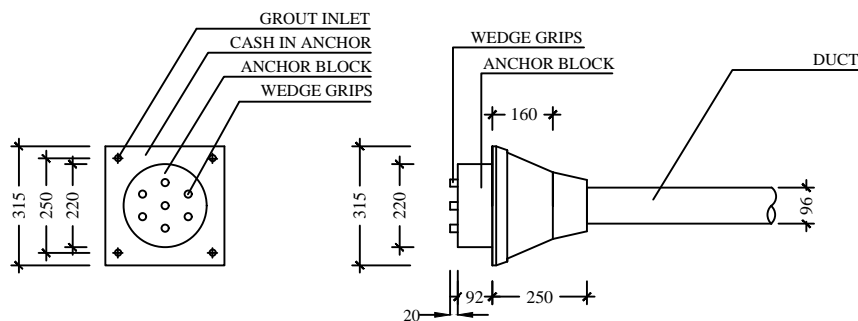
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	24	30



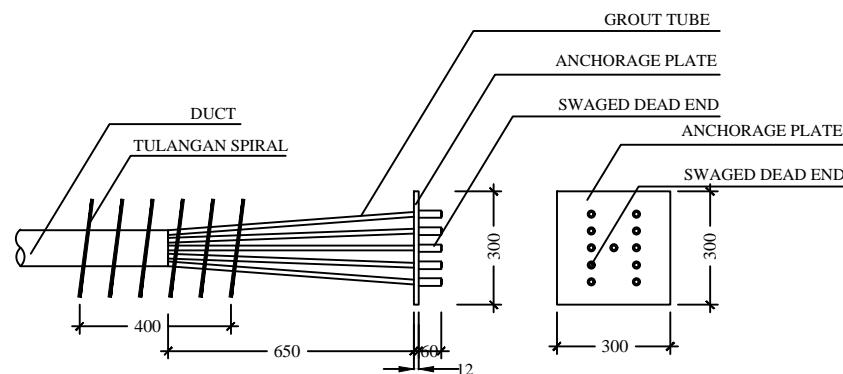
POTONGAN A-A  
Skala 1:20



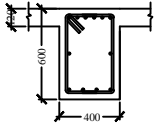
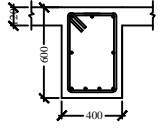
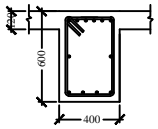
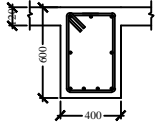
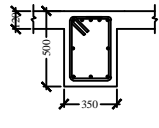
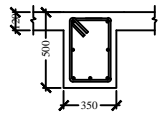
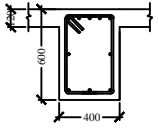
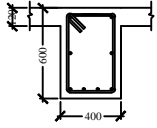
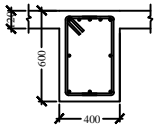
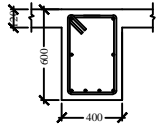
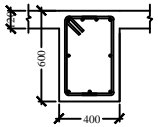
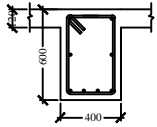
POTONGAN B-B  
Skala 1:20



DETAIL VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc  
Skala 1:20

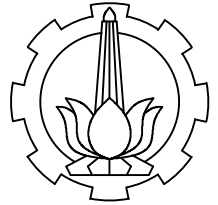


DETAIL VSL DEAD END ANCHORAGE TYPE P  
Skala 1:20

TIPE BALOK	B1 ( Lantai 1-8 memanjang)		B2 ( Lantai 1-8 memanjang)	
	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI (mm)	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600
TULANGAN ATAS	6 D 19	3 D 19	6 D 19	3 D 19
TULANGAN TORSI	2 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19
TULANGAN BAWAH	4 D 19	4 D 19	4 D 19	4 D 19
TULANGAN SENGKANG	D13 - 100	D13 - 250	D13 - 100	D13 - 250
TIPE BALOK	B3 ( Lantai 1-13 melintang)		B4 ( Lantai 9-13 memanjang)	
	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI (mm)	350 x 500	350 x 500	400 x 600	400 x 600
TULANGAN ATAS	5 D 19	2 D 19	5 D 19	2 D 19
TULANGAN TORSI	2 D 16	2 D 16	2 D 19	2 D 19
TULANGAN BAWAH	3 D 19	3 D 19	3 D 19	4 D 19
TULANGAN SENGKANG	D13 - 100	D13 - 200	D13 - 100	D13 - 250
TIPE BALOK	B5 ( Lantai 9-13 memanjang)		B6 ( Lantai atap memanjang)	
	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI (mm)	400 x 600	400 x 600	400 x 600	400 x 600
TULANGAN ATAS	5 D 19	2 D 19	4 D 19	2 D 19
TULANGAN TORSI	2 D 19	2 D 19	2 D 16	2 D 16
TULANGAN BAWAH	3 D 19	4 D 19	3 D 19	4 D 19
TULANGAN SENGKANG	D13 - 100	D13 - 250	D13 - 100	D13 - 250



**DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK**  
Skala 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

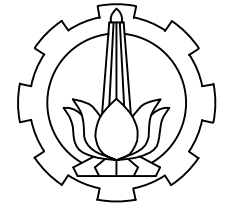
DETAIL PENULANGAN  
BALOK INDUK

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	25	30

TIPE BALOK	B7 ( Lantai atap melintang)		B8 ( Lantai atap memanjang)	
	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI (mm)	350 x 500	350 x 500	400 x 700	400 x 700
TULANGAN ATAS	3 D 19	2 D 19	4 D 19	2 D 19
TULANGAN TORSI	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16
TULANGAN BAWAH	2 D 19	3 D 19	3 D 19	4 D 19
TULANGAN SENGKANG	D13 - 100	D13 - 200	D13 - 100	D13 - 250
TIPE BALOK	BP ( Balok Pratekan )		S1 ( Balok sloof memanjang)	
	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI (mm)	400 x 700	400 x 700	400 x 600	400 x 600
TULANGAN ATAS	6 D 22	3 D 22	6 D 19	3 D 19
TULANGAN TORSI	-	-	2 D 19	2 D 19
TULANGAN BAWAH	4 D 22	5 D 22	4 D 19	4 D 19
TULANGAN SENGKANG	Ø10 - 125	Ø10 - 250	D13 - 100	D13 - 250
TIPE BALOK	S1 ( Balok sloof melintang)			
	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN		
POTONGAN				
DIMENSI (mm)	350 x 500	350 x 500		
TULANGAN ATAS	3 D 19	2 D 19		
TULANGAN TORSI	2 D 16	2 D 16		
TULANGAN BAWAH	2 D 19	3 D 19		
TULANGAN SENGKANG	D13 - 100	D13 - 200		



DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK, PRATEKAN DAN SLOOF  
Skala 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

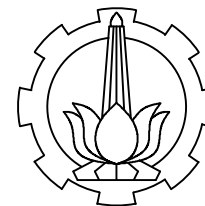
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

DETAIL PENULANGAN BALOK INDUK,  
PRATEKAN DAN SLOOF

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	26	30



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

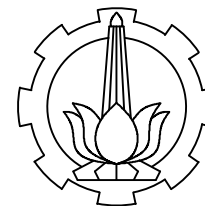
JUDUL GAMBAR :

DETAIL PENULANGAN  
BALOK SEKUNDER

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	27	30

TIPE BALOK	BB ( Balok Bordes )		BA ( Balok Anak)	
	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI (mm)	350 x 500	350 x 500	250 x 400	250 x 400
TULANGAN ATAS	3 D 16	2 D 16	4 D 16	2 D 16
TULANGAN TORSI	-	-	-	-
TULANGAN BAWAH	2 D 16	3 D 16	2 D 16	4 D 16
TULANGAN SENGKANG	Ø10 - 200	Ø10 - 200	Ø10 - 150	Ø10 - 150
TIPE BALOK	BL ( Balok Lift)		BK ( Balok Kantilever )	
	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN & KIRI	LAPANGAN
POTONGAN				
DIMENSI (mm)	250 x 400	250 x 400	300 x 400	300 x 400
TULANGAN ATAS	2 D 16	2 D 16	4 D 19	2 D 19
TULANGAN TORSI	-	-	-	-
TULANGAN BAWAH	2 D 16	2 D 16	2 D 19	4 D 19
TULANGAN SENGKANG	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150	Ø10 - 150

**DETAIL PENULANGAN BALOK SEKUNDER**  
Skala 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

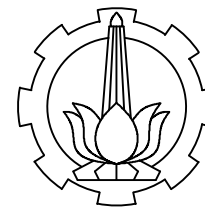
JUDUL GAMBAR :

DETAIL PENULANGAN KOLOM

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	28	30

TIPE KOLOM	K1 (KOLOM LT 1-4)		K2 (KOLOM LT 5-8)		K3 (KOLOM LT 9-13)	
POTONGAN						
DIMENSI (mm)	600 x 900	600 x 900	500 x 800	500 x 800	500 x 700	500 x 700
TUL. UTAMA	20 D 25	20 D 25	18 D 25	18 D 25	16 D 25	16 D 25
TUL. SENGKANG X	3D13 - 100	3D13 - 150	3D13 - 100	3D13 - 150	3D13 - 100	3D13 - 150
TUL. SENGKANG Y	5D13 - 100	5D13 - 150	5D13 - 100	5D13 - 150	4D13 - 100	4D13 - 150
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
TIPE KOLOM	K4 (KOLOM LIFT)		K5 (KOLOM TANGGA)			
POTONGAN						
DIMENSI (mm)	250 x 500	250 x 500	300 x 300	300 x 300		
TUL. UTAMA	10 D 19	10 D 19	8 D 16	8 D 16		
TUL. SENGKANG X	Ø 10 - 100	Ø 10 - 150	Ø 10 - 150	Ø 10 - 150		
TUL. SENGKANG Y	Ø 10 - 100	Ø 10 - 150	Ø 10 - 150	Ø 10 - 150		
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN		

**DETAIL PENULANGAN KOLOM**  
Skala 1:50



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

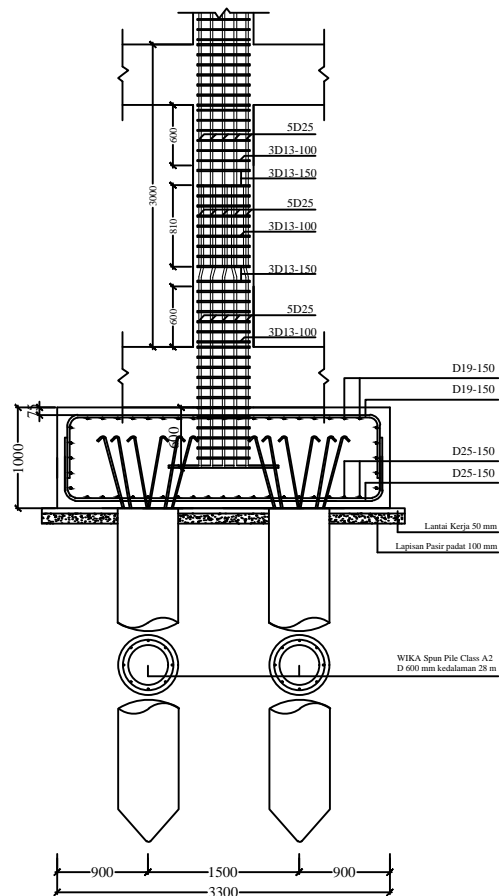
Pembimbing 2 :

Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

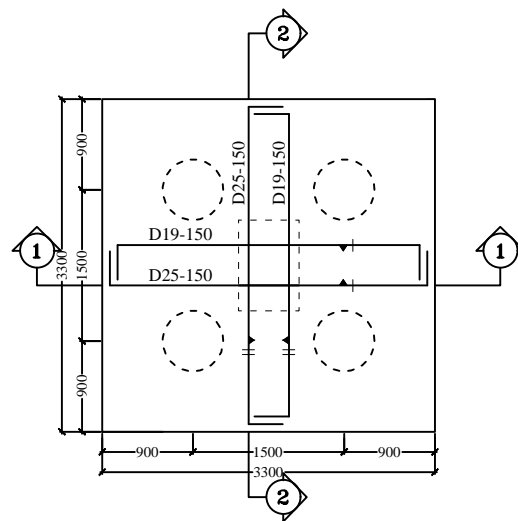
JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN PILE CAP TIPE PC 1  
DAN POTONGAN

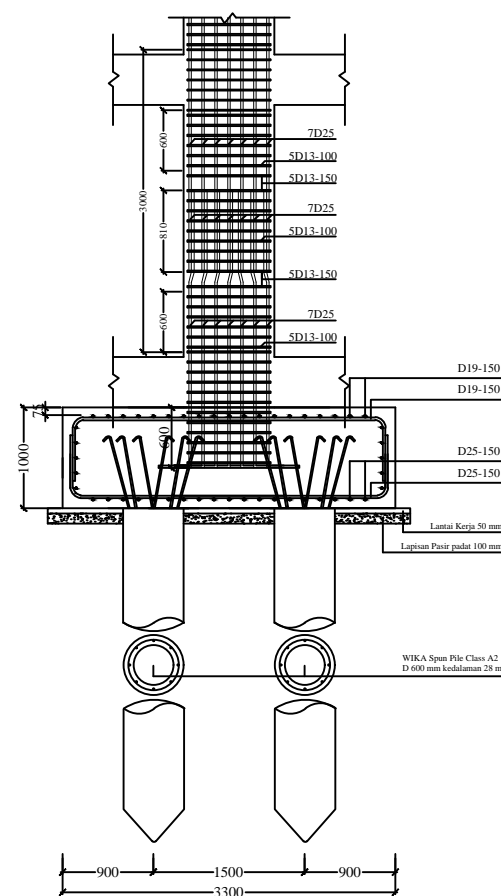
KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	29	30



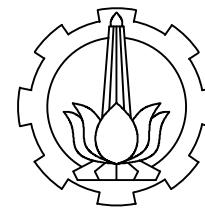
POTONGAN 1 - 1  
Skala 1:75



PENULANGAN PILE CAP TIPE PC 1  
Skala 1:75



POTONGAN 2 - 2  
Skala 1:75



DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JUDUL TUGAS :

TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR  
GEDUNG APARTEMEN PAVILION  
PERMATA SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA  
PEMIKUL MOMEN KHUSUS  
(SRPMK) DAN BALOK PRATEKAN

NAMA MAHASISWA :

ACHMAD FAUZI PRIMABELLA  
(03111645000056)

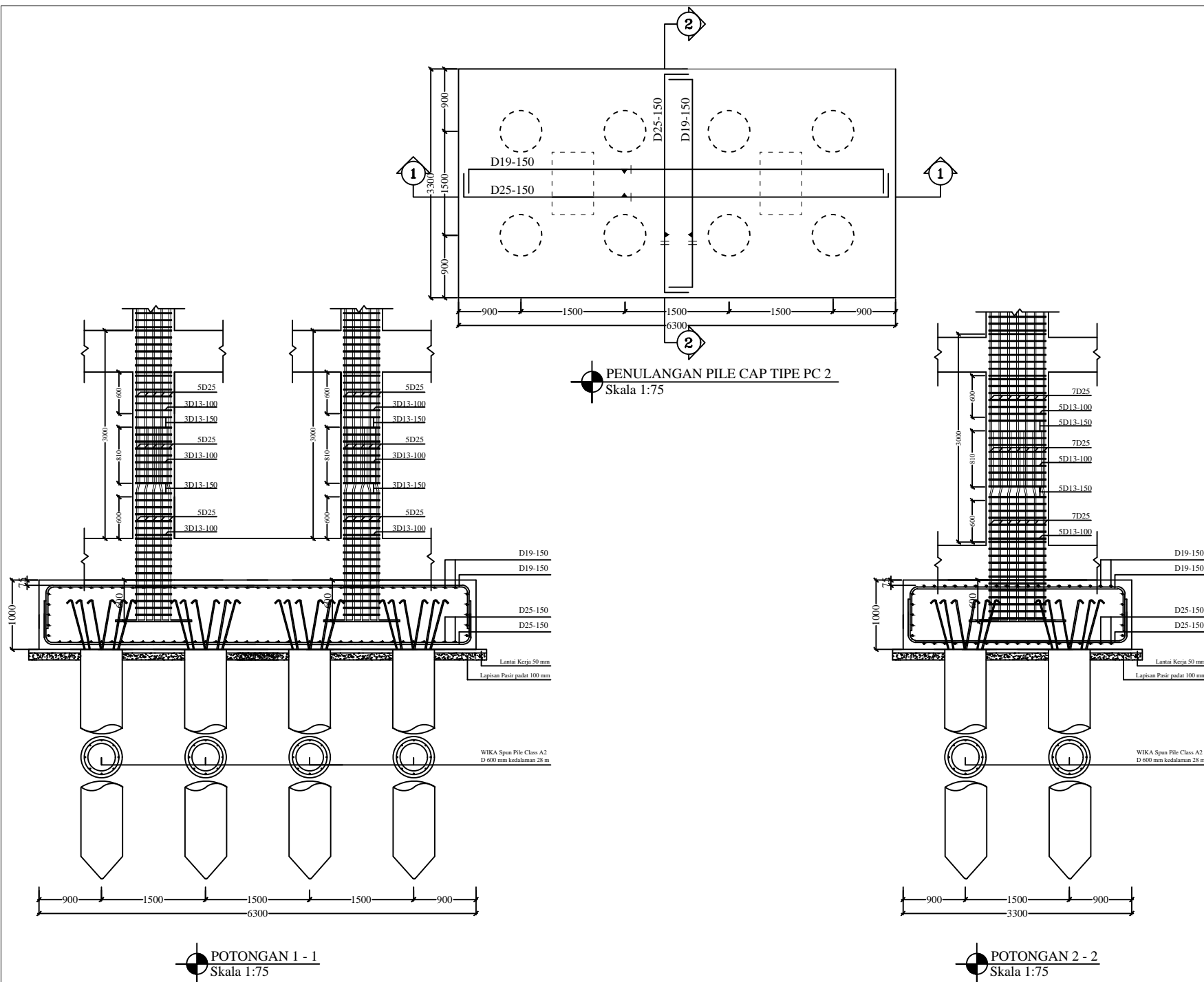
NAMA DOSEN PEMBIMBING :

Pembimbing 1 :  
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka  
Pembimbing 2 :  
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

JUDUL GAMBAR :

PENULANGAN PILE CAP TIPE PC 2  
DAN POTONGAN

KODE	NO LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
STR	30	30







Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)  
Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka
NAMA MAHASISWA	: Achmad Fauzi Primabella
NRP	: 03111645000056
JUDUL TUGAS AKHIR	: Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya dengan Metode SRPMK dan Balok Protekan
TANGGAL PROPOSAL	: 25 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 025745

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	8-3-18	• Preliminary Desain	- Semua tulangan pakai ulir - Lanjutkan perhitungan struktur sekunder dan permodelan struktur.	Pas
2.	23-3-18	• Perhitungan Pelat	- Kontrol pa	Ra
3.	29-3-18	• Tangga ditranskrip	- Perkecil mutu tulangan plat - Lanjutkan perhitungan balok anak, bordes (manual)	Ra
4.	20-04-18	- Perhitungan Struktur Sekunder - Permodelan Struktur	- Lanjut gambar penulangan - Cek Torsi	Ra
5.	16-05-18	- Perhitungan Balok Induk - Perhitungan Kolom	- Pertimbangkan berbagai hal dalam penentuan D tulangan	Ra
6.	31-05-18	• Perhitungan Protekan	- Cek log; kehilangan protekan	Ra
7.	22-06-18	• Gambar Penulangan Struktur	- Lanjutkan PPT	Pas



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)  
Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Prof. Tawio, S.T., M.T., Ph.D.
NAMA MAHASISWA	: Achmad Fauzi Primabella
NRP	: 03111645000056
JUDUL TUGAS AKHIR	: Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Pavilion Bermata Surabaya dengan Metode SRPAUK dan Balok Patekan
TANGGAL PROPOSAL	: 25 Januari 2018
NO. SP-MMTA	: 025745

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1.	8-3-18	• Preliminary Desain	- Lanjutkan permodelan struktur - Cek persyaratatan gempa (drift, base shear, dll)	
2.	3-4-18	- Perhitungan Tongga, balok bordes, pelat - Permodelan struktur	- Cek ulang drift (material, modulus) - Cek ulang perioda (mendekati $T_a$ )	
3.	20-4-18	- Perhitungan balok anak, kantilever, lig t - Permodelan struktur	- Lanjutkan struktur primer	
4.	21-5-18	• Perhitungan struktur primer dan HSK	- Cek ulang Momen prestelen	
5.	04-6-18	• Strong Column Weak Beam	- Kolom atap tidak perlu cek SCWB.	
6.	08-06-18	• Perhitungan Pondasi	- Lanjutkan.	

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
**PROGRAM SARJANA LINTAS JALUR**  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL FTSLK – ITS

**BERITA ACARA PENYELENGGARAAN UJIAN  
SEMINAR DAN LISAN  
TUGAS AKHIR**

Pada hari ini **Rabu tanggal 11 Juli 2018** jam **09.00 WIB** telah diselenggarakan **UJIAN SEMINAR DAN LISAN TUGAS AKHIR** Program Sarjana Lintas Jalur Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS bagi mahasiswa:

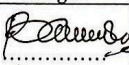
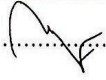
NRP	Nama	Judul Tugas Akhir
03111645000056	Achmad Fauzi Primabella	Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Pavilion Permata Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Balok Pratekan

Dengan Hasil :

<input type="checkbox"/> Lulus Tanpa Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Seminar dan Lisan
<input checked="" type="checkbox"/> Lulus Dengan Perbaikan	<input type="checkbox"/> Mengulang Ujian Lisan

Dengan perbaikan/penyempurnaan yang harus dilakukan adalah :

- *Supaya ada SNI no 1 Bata Merah*
- *Panjang beton VC untuk panjang beton 2 mtr / 1 mtr ah.*
- *Bursting steel untuk tumpuan mbeluk.*
- *Tangga dibuat ah dari belah ketupat.*
- *Fondasi ah layantra M, V, N tial gupa (Tipe Pang).*
- *2 ft & Av - Gk.*
- *Tanah kompartilates.*

Tim Penguji (Anggota)	Tanda Tangan
Bambang Piscesa, ST. MT	
Ir. Faimun, MSc. PhD	

Surabaya, 11 Juli 2018

Dosen Pembimbing 1

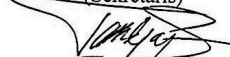
(Ketua)



**Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka**

Dosen Pembimbing 2

(Sekretaris)



**Prof. Tawig, ST. MT. PhD**

Dosen Pembimbing 3

(Sekretaris)

## **BIODATA PENULIS**



**Achmad Fauzi Primabella**, lahir di Ponorogo, 25 Mei 1994 dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Galak, juga pernah bersekolah di SMPN 5 Ponorogo dan SMAN 1 Ponorogo. Setelah lulus SMAN 1 Ponorogo pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Diploma III Teknik Sipil FTSLK-ITS dengan mengambil bidang Bangunan Gedung. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Sipil FTSLK-ITS. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan/organisasi selama menjadi mahasiswa yaitu di LDJ JMAA ITS, UKM Sepakbola ITS, BEM FTSP dan HMI. Penulis juga aktif dalam perlombaan olahraga baik di dalam maupun luar kampus ITS.

Contact Person :

Email : [achfaprim07@gmail.com](mailto:achfaprim07@gmail.com)